#11

BULLETIN
OF THE
NANSEI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

No. 11

南西海区水産研究所研究報告

第 11 号

昭和 53 年 12 月
南 西 海 区 水 産 研 究 所
広　島
NANSEI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY
FISHERIES AGENCY
HIROSHIMA, JAPAN
December 1978

正　誤　表

頁		誤	正
8	Plate 1	brem	bream
13	Fig. 4	pectral	pectoral
24	20 行	天 烈	天 然
68	19 行	(10)式より	(11)式より

南 西 海 区 水 産 研 究 所 研 究 報 告

第 11 号

目　　次

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 1～8 (1978)

マダイ稚仔魚の形態学的研究―III.

斑紋の形成

福原　修

Morphological Studies of Larva of Red Sea Bream-III.

Formation of Black Stripes

Osamu FUKUHARA

The experiment was designed in order to observe the formation of transverse stripes in juveniles of the Red Sea Bream. Data are based on observations from specimens reared under laboratory conditions. Methods used to rear and observe larvae and juveniles were almost identical to those described previously (FUKUHARA 1976a, b).

Black stripes appeared first on specimens of about 7.5 mm standard length, developing gradually as the juvenile grew. The five black stripes were completed at a standard length of more than 11.0 mm. Completion of stripe formation was attained within a period ranging from day 27 to day 41 after hatching.

増養殖の目的のために人為的に生産したマダイ種苗を使用するに際して，諸器官の発生と形態や行動の変化を把握し，それぞれの発育段階における形態的，機能的特性を知っておくことは重要である。前報（福原[1)2)]）では，このような観点から鰭および鱗の発生経過の観察を行ない，稚魚の初期と後期に観察した器官は，相関連しながら発達し，生活様式に少なからぬ影響を及ぼすであろうことを指摘した。今回は本種の生活史の初期において生活様式のうつりかわりを知る上で重要と考えられる斑紋の形成を明らかにするため人工飼育で得た標本を用いて観察を行ない，従来の知見への追加と斑紋の生活様式に及ぼす影響に関して若干の吟味を行なった。

魚類の色彩斑紋について，内田[3)4)]は多くの海産魚におけるその形成を観察し，発達は系統的であること，また生態の変換が伴なうことを明らかにしている。本種の斑紋については，内田等[5)]が天然標本を観察しているが，形成過程および時期の詳細についてはふれていない。

最近，福所[6)]は人工生産したイシダイの斑紋形成を調べ，斑紋形成が摂餌生態の変化とよく関連し，飼育管理過程の移動時期を知る上で有用な一つの指標とできることを指摘した。本種においても斑紋は幼期において特徴的に形成され，かつ行動変化を伴なっていることからマダイ幼期における生態を解明する上できわめて有効であると考えられる。

本研究を進めるにあたり終始指導と助力をたまわり本稿の校閲を労らわせた本研究所増殖部長斉藤雄之助博士，栄養生理研究室長阪口清次博士に深謝する。また実験材料の採取に御協力いただいた広島県水産試験場伏見徹研究員および資料の統計処理について指導いただいた梅沢敏技官に感謝いたします。西ドイツヘリゴランド生物研究所，Harald Rosenthal 博士には英文の校閲をいただいた記して謝意を表する。

1978年6月29日受理．南西海区水産研究所業績　第75号

材 料 お よ び 方 法

観察に用いた標本は，1977年5月19日～7月16日の間，南西海区水産研究所において飼育した。飼育に用いた仔魚，餌料生物および水槽等は前報とほぼ同様である。飼育水槽（polycarbonate 樹脂，円形，1,000ℓ）は屋内に設置し，水面より50cm上部に60W白色電球をとりつけ雨天の時は点灯した。標本は前年の観察から斑紋の形成が始まると考えられたふ化後約25日から3～4日おきに飼育水槽より適時採取し、生体あるいは5％中性ホルマリン固定の後すみやかに観察した。観察は全個体について，実体顕微鏡下（Wild Heerbrugg, M7A型）で標本の輪郭と斑紋の出現部位を描画し，万能投影器上（Nikon, model V—16）でその体長測定を行なった。

結 果

飼育条件

飼育期間中の使用した生物餌料，水温および塩分変化を Fig. 1 に示した。餌料はシオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* を3日～20日，シオダマリミジンコ *Tigriopus japonicus* を18日～35日および魚貝肉を26日以降それぞれ投与した。水温は原則として午前9時に測定したが，その変動範囲は17.3～24.4℃で平均21.2℃であった。なお塩分の測定回数は充分ではないが，おおむね29～31‰の範囲であったと思われる。飼育に用いた受精卵の卵径は0.918±0.029mm（N＝103）である。

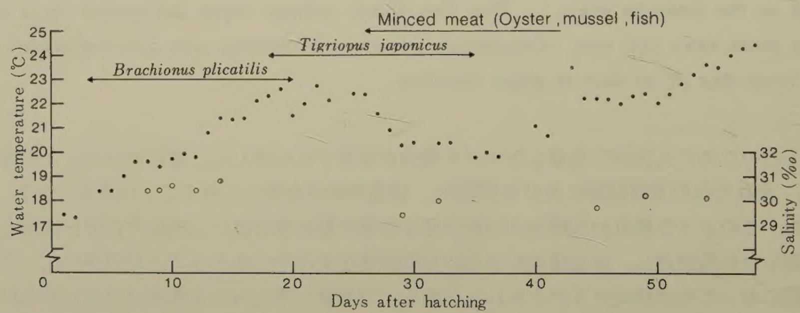


Fig. 1. Rearing experiment with *Chrysophrys major* larvae. Water temperature, salinity and feeding periods for different types of food during the rearing period.

斑紋の形成過程

本種の斑紋は体側に5本の横帯が形成され，躯幹部に2横帯，尾部に2横帯，両部分の境に1横帯認められる。前方の2横帯は体側を完全には横切らないが，後方の3横帯は臀鰭基底部および尾柄部腹面で連続する。各横帯の位置は，背鰭直前（第1帯），背鰭第3～5棘条（第2帯），背鰭第1～3軟条（第3帯），背鰭第8～10軟条（第4帯）および尾柄部（第5帯）であり，背鰭第8～10棘条周辺に位置する黒色素群は第2帯，第3帯を連結させ，両帯はY字形を呈している。

Fig. 2 に斑紋の形成される過程を模式的に示した。5横帯以外に頭頂部，上顎，眼部および鰓蓋部などに黒色素胞が分布するが，ここでは5横帯を構成する群について記述，図示した。発達段階はつぎのように区分することができる。

Stage A，後期仔魚期あるいは稚魚期に相当する。体側上には目立った色素胞は認められない。

Stage B，形態的発育段階は前期とほぼ同様である。背鰭基底後端から尾柄背側にかけて黒色素胞の1群が出現する。観察個体のほとんどは背側から出現するが，まれに腹側から出現する個体がみられる。

Stage C，前期に出現した黒色素の1群は腹側方向へむかってその帯状範囲を拡げる。さらに背鰭直前と棘条部にある2群の黒色素胞が目立つようになる。

Stage D，形態的には稚魚期に入り，尾柄部前方の1群は体側を完全に横切り，斑紋を形成し第4帯が完成する。臀鰭基底周辺の黒色素は前方に伸びている。軀幹部背側の3群は前期よりわずかに範囲を拡げる。

Stage E，第3帯に相当する斑紋が形成される。前期からの経過時間はきわめて短かい。第3帯の腹側前縁は未だ臀鰭前端に達していないが腹側で前期に完成した第4帯と連なる。背鰭直前の1群は体側中央域まで伸び他の群も同様に拡がる。また，第3帯前方に1かたまりの黒色素胞が出現してくる。

Stage F，第4帯は背鰭後端でその範囲を拡げる。また尾柄腹側は第4帯から拡張した第5帯に相当する色素群が外縁にそって目立つようになり，背側に向かって帯状に伸びる。

Stage G，尾柄部に出現した群は体側を横切り，完成する。第3帯は，その幅を拡げ軀幹後方に達し，*Stage E*で出現した前方の1群と連なる。さらにその1群は第2帯とも連なり，第2帯と第3帯が背側でY字形を呈している。

体長と斑紋の発達

稚仔魚の成長に伴なう斑紋の発達を前述した発育段階に対応させて Fig. 3 に示した。体長の増加に伴な

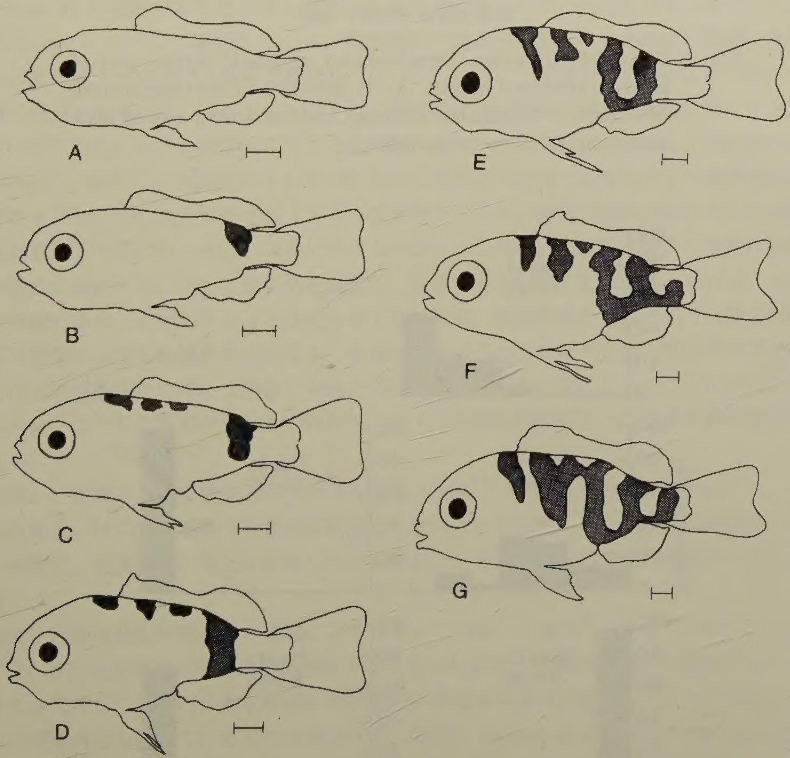


Fig. 2. *Chrysophrys major*. Semidiagrammatic drawing of sequence in black stripe formation distinguished by the number of transverse band formed on the body surface. Scales denote 1 mm.

い斑紋の形成は進む。平均体長7.0mm前後から形成が始まり，早い個体では体長約9.0mmで形成を終える。各発育段階における変異幅からみて体長約11.0mm以上の個体ではすべて斑紋の形成を完了していることがうかがえる。形成を完了した斑紋は，飼育魚で観察する限り，体長20mm前後までは明瞭であるが，体長30～40

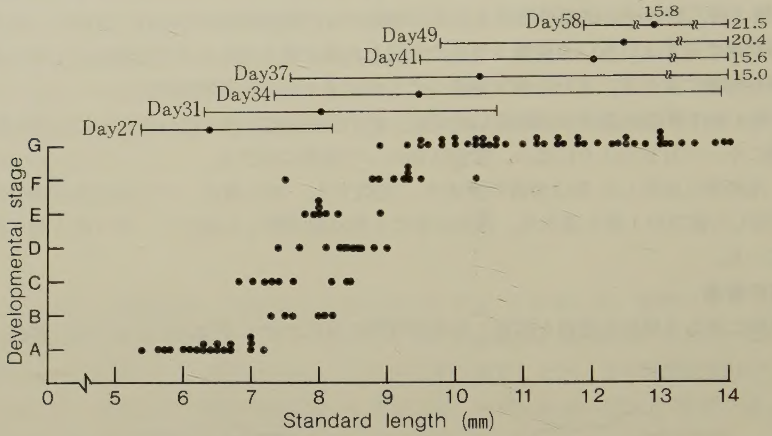


Fig. 3. *Chrysophrys major*. Development of black stripe plotted against standard length. A—G identical to the descriptions in Figure 2. Minimum, average and maximum size of each sampling day are indicated.

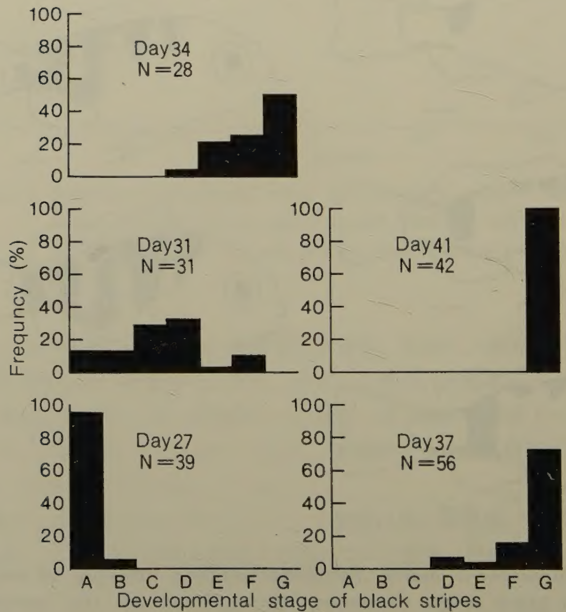


Fig. 4. Stage distribution of black stripes on each sampling day. N=number of fish observed.

mm頃になるとやや不明瞭になる。その後しだいに斑紋の消失傾向がみられ，体長70mm近くになるとほとんどの個体は不明瞭で，飼育中に刺激を与えた時，瞬時に認められる程度である。

Fig. 3 上部に示した各測定日の標本の平均体長でみるとふ化後34日で平均体長と斑紋の形成完了時期がほぼ一致し，さらにこの大きさはふ化後41日目における最小個体に相当している。すなわち，41日目以降はすべての観察個体の斑紋形成が完了していることを示している。

日令と斑紋の形成

ふ化後の日数経過に伴なう斑紋の各発育段階別の組成を Fig. 4 に示した。25日目は全個体が *Stage A* であったので27日目から図示した。27日目は95%が *Stage A* であるが，4日後（31日目）には，*Stage C*, *D* が多くなり，約10%はすでに，*Stage F* に達している。34日目には *Stage D* 以上にすべてが達し，約半数が *Stage G* に達している。3日後（37日目）には約70%が斑紋の形成を完了し，41日目には前述したように全個体が形成を完了している。ふ化後41日前後は，形態的には稚魚期に達して間もない時期に相当する。

考　　察

本種の斑紋形成については内田ら[5]が天然標本について，全長12.0mm（pl 73からの推定体長9.4mm）で本報の *Stage D* に相当すると思われる個体と全長15.8mm（同じく推定体長12.6mm）で5横帯の完成した個体（*Stage G*）について報告している。観察標本の諸条件が異なるため両者の詳細な比較はできないが，内田らの天然標本が全長12.0mmで鰭式D. XII，10；A. III，8に達していることから今回の観察と同様に稚魚期移行直後かあるいは，移行まもないうちに斑紋第4帯が形成し始めるのではないかと考えられる。この時期は初期生活史における形態的に大きな変換期にあたり，従来見られなかった諸行動が発現，分化する（Yamagishi[7]，福原[1]）。本研究で今までに得られた諸器官の発達と飼育条件下で観察される行動変化などを総括すると Fig. 5 のように示されよう（一部未発表）。今回の観察で斑紋形成がみられた期間すなわちふ化後経過日数にして約27日～40日，体長で約7.5mmm～11.0mmは飼育水槽内で稚魚は走触性を示すと共に遮蔽物周辺に定位する。そして魚貝肉を摂食し，友喰いやなわばり形成が認められる。これらの一連の行動変化は生理的変化にも起因することは充分考えられるが，外部形質の発達の面では鱗が体側全面に出現し外部からの刺激に対する保護機能が高まり，各鰭が分化することにより游泳の様式が波状運動から推進運動にかわるなどの形態変化に伴なう機能の発達と斑紋の形成時期が一致していることは何らかの関連性があると考えられる。こうした事実からもこの時期がマダイの初期生活史の上で大きな生態の変換期であることがうかがえる。

斑紋の形成が，保護あるいは遮蔽としてのその意義（川本[8]，Lagler *et al*[9]，松原他[10]，ノルマン[11]）から考えて生活様式，特に生息場所への要求が変化してきたことを示唆している。外部形態の一形質が比較的認識し易い状態で，生活様式の変化を反映している点がイシダイのように飼育技術面への応用という点で有効性がある。

斑紋の形成と行動の変化が相伴なって起こる例は多い（内田[12]，福所[6]，星合[13] Zama *et al*[14] Fukuhara[15]）。特に生息場所の環境に最も関連すると思われるが，水槽内飼育から観察されるように環境変化とは必ずしも関係なく一定の日数を経過すれば斑紋が形成されるので前述したように稚魚の，場所を中心とした新しい環境適応を示しているものと解される。最近，Lagler *et al*[16] は，斑紋の意義について個体間の認知的役割を記載している。移行期に観察される攻撃行動，なわばり形成なども斑紋形成時期に特に著しいことからこうした側面からの検討も必要と思われる。

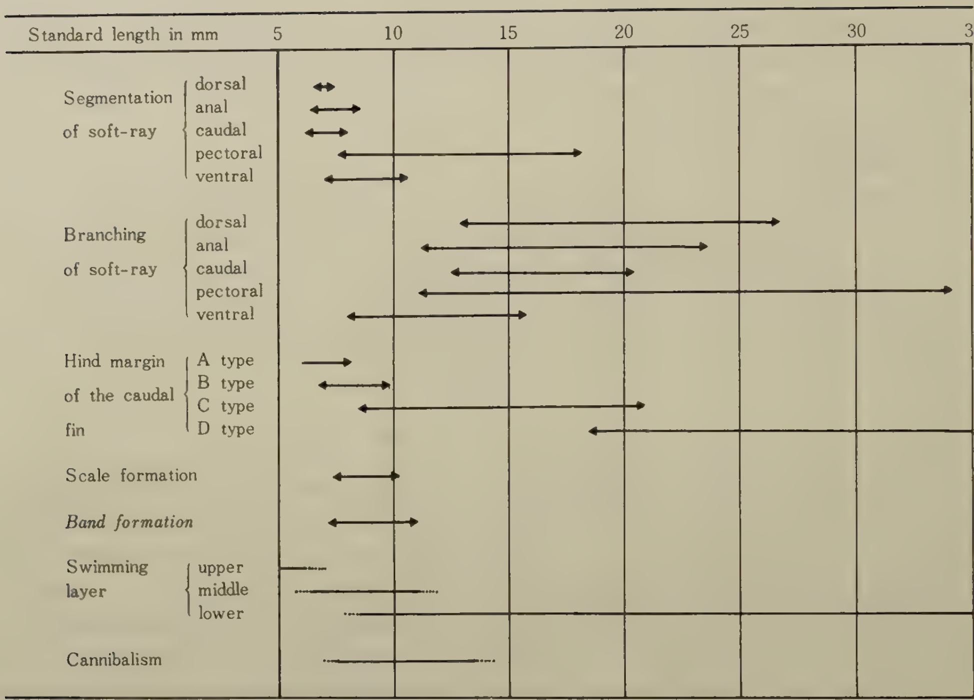


Fig. 5. Diagramatic drawing of the relation between morphological development and change of behavioral mode observed in the rearing tanks. Dotted areas : transitional phase.

摘　　　要

マダイ幼期における斑紋の形成を1976年～1977年の飼育実験から得た稚仔魚を用いて観察した。得られた結果はつぎのとおりである。

1）体側の５横帯は，形態的には稚魚移行期前後の比較的短期間内に形成される。

2）形成開始から完成までの大きさ，日令は体長で約7.5mm～11.0mm，ふ化後経過日数で約27日～40日である。

3）形成は，まず第４帯に相当する尾柄前方部に黒色素胞が出現し，始まる。体側を完全に横断したのち第３帯が形成され，他の斑紋はほぼ同時に形成される。体長20mm頃までは斑紋は，きわめて明瞭であるがそれ以降は次第に不鮮明となり，体長70mm近くになるとほとんど消失する。

4）斑紋の形成と飼育水槽内での摂餌，友喰い，なわばり形成などの行動様式の変化とよく関連づけられ，斑紋の形成が特に生息環境の変化を示すものと考えられた。

文　　　献

1）福原修，1976：マダイ稚仔魚の形態学的研究－Ｉ，鰭の形成について．本誌(9)，1－11.

2）福原修，1976：マダイ稚仔魚の形態学的研究－Ⅱ，初生鱗の発生と生長．同誌，13－18.

3）内田恵太郎，1928：魚類における種々なる型の斑紋の形成及び系統に就いて．動雑40，496－498.

4）内田恵太郎，1966：5. 魚類の変態．脊椎動物発生学，（久米又三編，培風館），115—122.
5）内田恵太郎・今井貞彦・水戸敏・藤田矢郎・上野雅正・庄島洋一・千田哲資・田福正治・道津喜衛，1958：日本産魚類の稚魚期の研究，第1集．九大農学部水産学第2教室，viii＋89pp., 86pls
6）福所邦彦，1975：イシダイ稚仔魚飼育指標としての斑紋の形成．魚雑**22**(1)，23—30.
7）Yamagishi, H., 1969 : Postembryonal Growth and its Variability of the Three Marine Fishes with Special Reference to the Mechanism of Growth Variation in Fishes. Res. Popul. Ecol. **11**(1), 14—33.
8）川本信之，1956：魚類生理学，第1版．iii＋319pp., 石崎書店.
9）Lagler, K. F.,J.E. Bardack and R.R. Miller, 1962 : Ichthyology. lst edit. xiii＋545pp., John Wiley and Sons Inc. New York.
10) 松原喜代松・落合明・岩井保，1965：魚類学(上)，水産学全集9．342pp., 恒星社厚生閣.
11) Norman, J.R. 黒沼勝造・上野達治共訳，1970：魚の博物学．xii＋393pp., 社会思想社.
12) 内田恵太郎，1926：イシダヒ *Oplegnathus fasciatus* (Temminck & Schlegel) の稚魚における斑紋の形成および習性について．動雑**38**(454)，228—237.
13) 星合愿一，1977：クロソイ稚仔魚について．魚雑**24**(1)，35—42.
14) Zama, A., M. Asai and F. Yasuda, 1977 : Changes with Growth in Bony Cranial Projections and Color Patterns in the Japanese Boarfish, *Pentaceros japonicus*. Jpn. J. Ichthy. **24**(1), 26—34.
15) Fukuhara, O., 1977: Some Morphological Observations on Larvae and Juveniles of the Kurodai, *Mylio macrocephalus* (Sparidae: TELEOSTEI) Reared in the Laboratory. Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (10), 1—16.
16) Lagler, K.F., J.E. Bardack, R.R. Miller and D.R.M. Passino, 1977 : Ichthyology, 2nd edit. xv＋506pp., John Wiley and Sons Inc. New York.

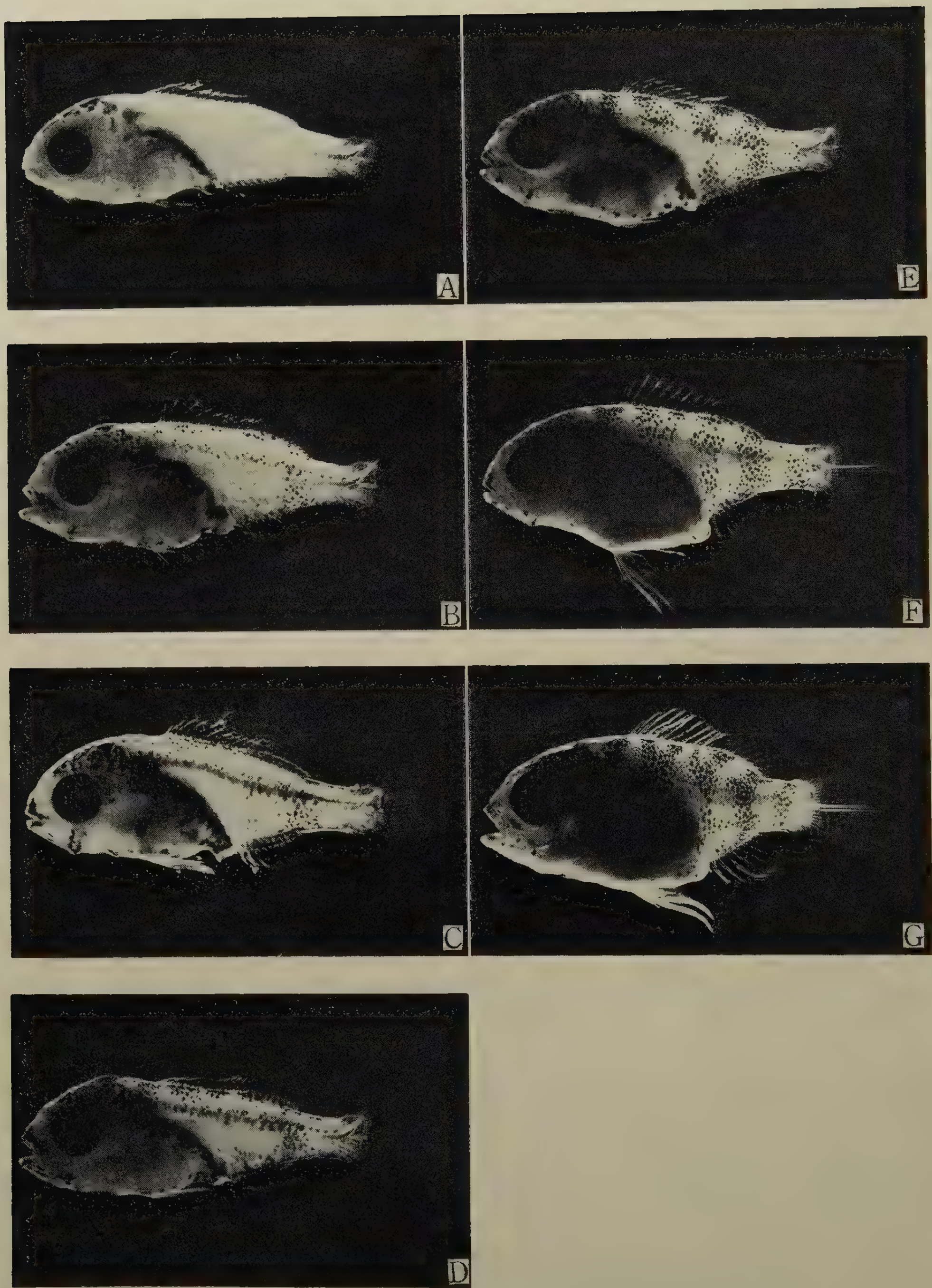


Plate 1. Photographs showing the black stripe formation of the reared red sea brem, *Chrysophrys major* under laboratory conditions.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 9~17 (1978)

イシダイの鰭および鱗の形成について

福原　修・伊藤捷久*

On the Formation of the Fins and Squamation in the Japanese Parrot Fish, *Oplegnathus fasciatus* Reared in the Laboratory

Osamu FUKUHARA and Katsuhisa ITO

Newly hatched larvae of the Japanese parrot fish, *Oplegnathus fasciatus* were reared during the 1976 and 1977 period from egg stages to juveniles in order to observe the formation of fins and scales. Larvae were reared in indoor tank to an average standard length of 20 mm. Juveniles then were transferred to net cages. Larvae and juveniles were fed on cultured *Brachionus plicatilis*, *Artemia salina* and minced meat of fish.

Morphological data on fin and scale development were obtained from 271 specimens, stained by Alizarin, fish size ranged from 5.0 to 66.0 mm standard length.

Segmentation of soft-ray in each fin occurred in specimens between 8.0 and 10.0 mm SL, whereas branching of soft-ray had been observed in juveniles of about 20 to 30 mm SL.

The first appearance of scales was observed when the fish attained about 12.0 mm SL. Scales appeared on several portions of the body, the anterior end of the trunk and the peduncle, then extended to each side with increasing fish size. Squamation was completed in specimens larger than 25 mm in standard length.

イシダイ，*Oplegnathus fasciatus* は北海道以南の日本各地の沿岸に広く分布する。最近は増養殖を目的として各地で人工種苗生産が盛んに行なわれ，その有用性も増しつつある。本種の形態に関しては卵およびふ化仔魚について水戸[1]，斑紋の形成について内田[2]，福所[3]らの研究があるが，他の形態についてはほとんど明らかにされていない。今回，人工飼育した稚仔魚の形態を観察し，鰭および鱗の形成などについて明らかにしたので報告する。

本研究を進めるにあたり，援助，指導をいただいた本所増殖部栄養生理研究室長阪口清次博士，調査研究の機会を与えられた愛媛県水産試験場津田武男元場長，山城正一現場長および満田春馬増殖課長に感謝いたします。また本稿の校閲をいただいた増殖部長斉藤雄之助博士および英文について指導いただいたヘリゴランド生物研究所 Harald Rosenthal 博士，統計処理について指導，助言いただいた本所梅沢敏技官にお礼申し上げます。

材料および方法

観察に供した稚仔魚は，1976と1677年に卵から人工飼育して得た。受精卵は，愛媛県水産試験場の網生簀内に収容した親魚が自然放卵したもので，採集した卵を飼育室に移しふ化した後，生物餌料，魚肉等を投与

1978年6月29日受理，南西海区水産研究所業績　第76号

*愛媛県水産試験場（Ehime Prefectural Fisheries Experimental Station)

した。飼育期間は1976年が６月11日～８月30日，77年が６月６日～８月13日である。この飼育期間中の水温は，76年が18.8℃～27.3℃，77年が21.0℃～26.7℃であった。体長20mm前後までは陸上水槽（１～15トン）で飼育し，それ以降は小割生簀（３×３×３m）で飼育した。標本は各水槽より適時採取し，10％海水ホルマリン液で固定し，４～６カ月後に南西海区水産研究所においてアリザリン染色を行ない，それぞれの観察に供した。

観察は鰭の分節，分枝および形状変化と鱗の発生，生長について行ない鰭や鱗の大きさの測定は，ほぼ福原[4)5)]と同様である。鰭の輪郭については実体顕微鏡（Heerbrugg，Wild M7A型）で行なった。

結果および考察

本種の卵は，油球１個を有する透明な分離浮性卵である。ふ化仔魚は卵黄の前方に油球を有する。今回実験に用いた受精卵の卵径は0.87mm（N＝100，SD＝0.020）で，ふ化仔魚は全長2.27mm（N＝100，SD＝0.201），体長2.18mm（N＝100，SD＝0.030）であった。卵および仔魚の大きさは水戸[1)]による天然採集卵の観察結果とほぼ同じである。本実験に使用した体長約5.0mmから56.0mmまでの体長，体高関係を Fig. 1 に示した。$Y=-1.90+0.58X$ が得られ，相関係数もきわめて高い。また体長と全長との関係については，同じく $Y=0.610+1.187X$（$N=216$，$\gamma=0.997$）が得られた。

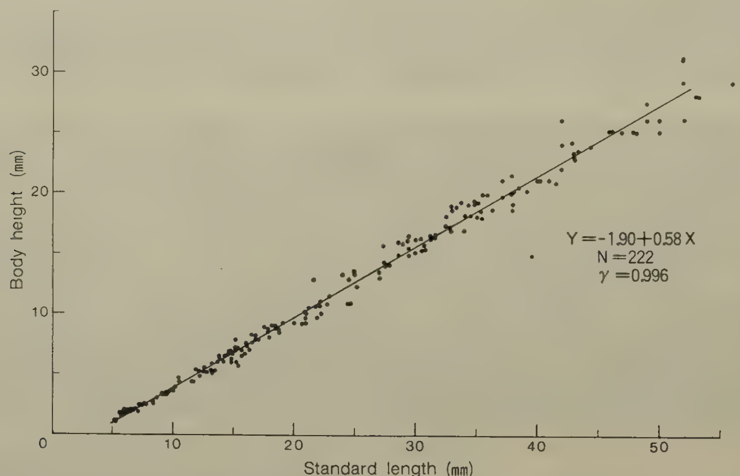


Fig. 1. *Oplegnathus fasciatus*. Relationship between body height and standard length.

1. 各鰭の形状変化

稚仔魚の発育に伴なう各鰭の形成過程を Fig 2 に示した。ふ化仔魚から稚魚期までの各鰭の形状を中心とした形態変化はつぎのように区分することができる。

ふ化仔魚（Fig. 2, A）仔魚膜は頭部に始まり，肛門部周辺で終り，背側，腹側はほぼ同じ幅で，脊索後方の背腹外縁はなめらかにくぼんでいるが特殊な構造はみられない。仔魚膜の体側において占める面積の割合は大きい。

後期仔魚期―１（Fig. 2, B, C）仔魚膜は前期に比べ，体側における割合は小さくなる。尾部後方のくぼみはさらに増すことにより，尾部中央部の背腹両側外縁で盛り上がりが目立つ。肛門部前端の仔魚膜は消失する傾向にあり，ウチワ状を呈する胸鰭が認められる。尾下骨の形成が始まり，尾鰭部分は円形を呈する。

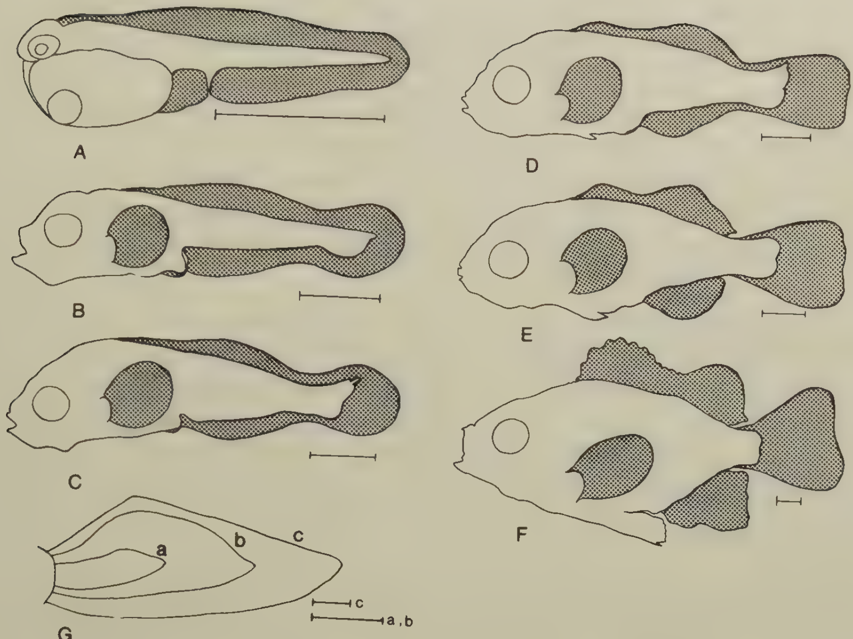


Fig. 2. Profile change of paired and unpaired fins of Ishidai, *Oplegnathus fasciatus* from newly hatched larvae to metamorphosis. Scales denote 1.0 mm.

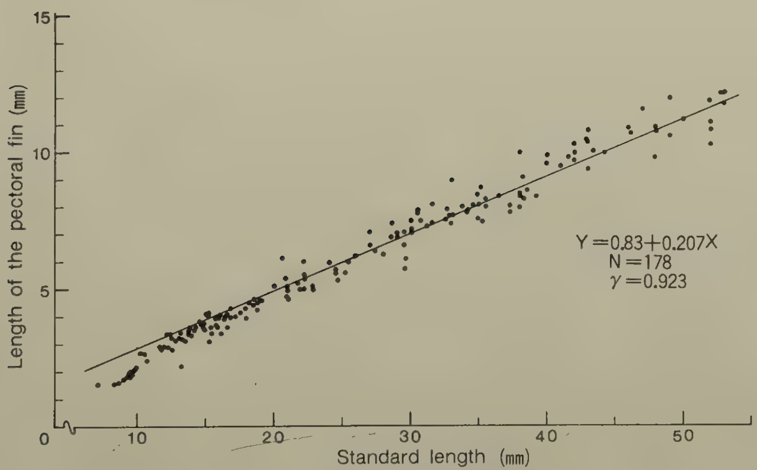


Fig. 3. *Oplegnatus fasciatus.* Length of pectoral fin plotted against standard length. See to FUKUHARA (1976a) for the portion of pectoral fin length measured.

後期仔魚期－2（Fig. 2, D）仔魚膜の幅は各部において著しく狭くなり，肛門部前端はほとんど消失する。胸鰭は大きな変化はないが，尾鰭周縁は円形から截形へと変化し，脊索末端部の突出はほとんど目立たなくなる。

移行期（Fig. 2, E）後期仔魚から稚魚への形態的移行期にあたる。不対鰭は分離し，背鰭，臀鰭，尾鰭としての形状が整ってくる。尾鰭および胸鰭の形状は前期とほぼ同じである。

稚魚期（Fig. 2, F）背鰭は棘条部と軟条部の間でくぼみ，棘条部の周縁は波状を呈する。後端は臀鰭と同様，体軸に対して垂直になり，本種の形態的特徴を示すようになる。胸鰭は上下方向より左右方向に長くなるが，外縁は前期と同様円形である。尾鰭は後縁が湾入形を呈するようになり，形状は本種の完成段階に達する。

Stage F で本種の鰭の形成はほぼ完成し，これ以降著しい形態変化はみられない。すなわち尾鰭後縁は湾入形を呈し，胸鰭も後縁は尖りを増すことはない。また，腹鰭は魚類一般に認められるように先端部が尖りを増し完成する。成長に伴なう胸鰭の伸長との関係で，最小自乗法に求めたのが Fig. 3 である。Y＝0.207X＋0.830の回帰直線式で示され，相関係数0.923で分散も小さく相関性は高い。また腹鰭の幅との間にはY＝0.091X＋0.070（N＝178，γ＝0.900）の関係が得られた。尾鰭後縁の形状は，一般に円形，截形，湾入形へと変化し推進力を増すが，各形状を示した標本の体長範囲は，円形が6.25mmまで，截形が5.6mm～10.8mmおよび湾入形が10.3mm以上であった。

2. 各鰭の分節および分枝

各鰭の成長に伴なう分節，分枝軟条数の変化を Fig. 4. に示した。本種の鰭式は，D.Ⅺ～Ⅻ，16～18，A.Ⅲ，12～13，C.19～20，P.17～18，V.Ⅰ，5とされている（大島[6]，冨山他[7]，阿部[8]，桧山・安田[9]，福所[3]）。今回観察した標本の軟条数は，背鰭16～18，臀鰭12～14，尾鰭17～18（不分枝軟条2）胸鰭16～18（不分枝軟条2）および腹鰭5であった。観察した個体数は約230尾で，分節未形成の個体は一部省略し，分節，分枝軟条数と体長が同一であった複数の個体は前述した図中には1点で示してある。以下各鰭について記載する。なお本文中においては標本の長さは特に表示しない場合はすべて標準体長（Standard length）を示す。

背鰭（Fig. 4, 上）　軟条16本以上を分節，分枝の完成と判断すると，分節は体長約7.0mmから始まり，早い個体は約9.0mmで終えるが，遅い個体は19.0mm頃と判断される。分枝は早い個体は12.0mm頃，遅い個体は16.0mm頃からそれぞれ始まり，21.0mmから25.0mmの間に完成することがうかがえる。

臀鰭（Fig. 4, 中）　軟条12本以上について観察すると，分節は約7.0mmから始まり，8.4mmから約10.0mmの間に完了する。分枝は12.0mm～15.0mmの間で始まり，20mm前後に完成すると思われる。

尾鰭（Fig. 4, 中）　軟条17本以上を分節完了，15本以上を分枝完了として見ると，分節は5.8mm頃から始まり，早い個体は7.2mm頃にすでに完了している。形成期間がきわめて短かく，形成が早い時期に行なわれるのが他の鰭と比較して特徴的な点である。分枝も形成期間は早く，約10.0mmから始まり，12.5mm頃から20.0mmの間には完了すると思われる。

胸鰭（Fig. 4, 下）　軟条16，14をそれぞれ分節および分枝の完了としてみると，分節の完了は約15.0mmから22.0mmの間にあり，形成期間は他の鰭に比べ長い。分枝は12.0～17.0mm前後から始まり，早い個体で約30.0mm，遅い個体で45.0mm頃に完了すると考えられる。

腹鰭　軟条5本について分節，分枝が認められ，条数に変異はない。他の鰭と異なり，分節と分枝の形成期間が重複しているのが特徴で，14.2mm～14.5mmまでに分節，分枝を完了する。

形成期間についてみると分節はいずれの鰭においても分枝より短かい。不対鰭（背，臀，尾鰭）は分節が完了したのち分枝が始まるが，対鰭（胸鰭，腹鰭）においては分節と分枝の形成期間が重複しているのが不対鰭との大きな差異である。

各鰭の鰭条数について福所[3]は，人工飼育標本で全長8.2mmで定数化していることを観察した。一方，

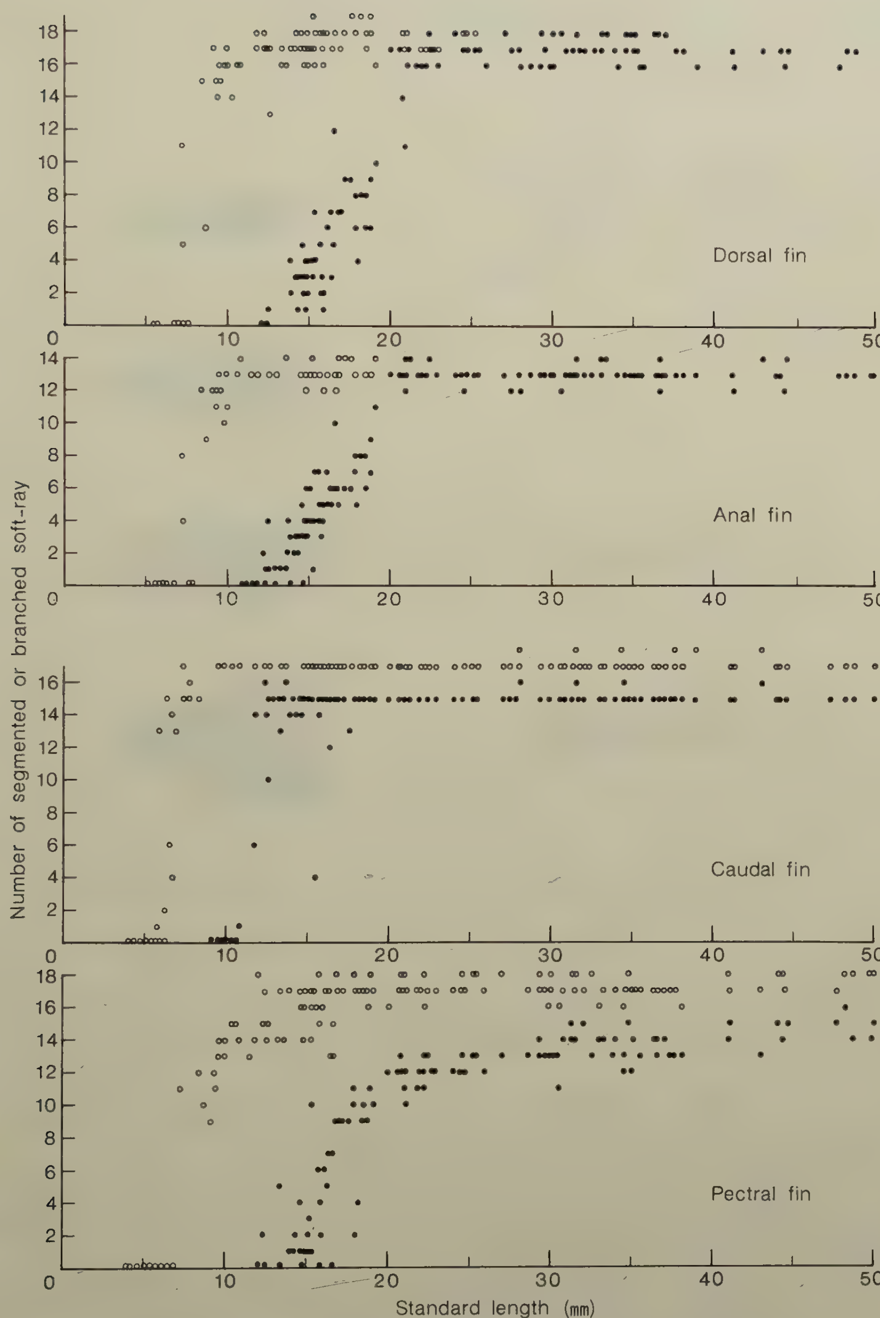


Fig. 4. *Oplegnatus fasciatus.* Segmentation (open circles) and branching (closed circles) of soft-ray in paired and unpaired fins.

天然標本については内田[2)]が全長9.3mm，体長7.2mmの個体において鰭条がすべて形成されていることを認めている。また，いずれの標本においても鰭条の定数化の時期に斑紋形成が始まっているので斑紋の形成開始と，鰭条の定数化がほぼ同一時期と判断できる。

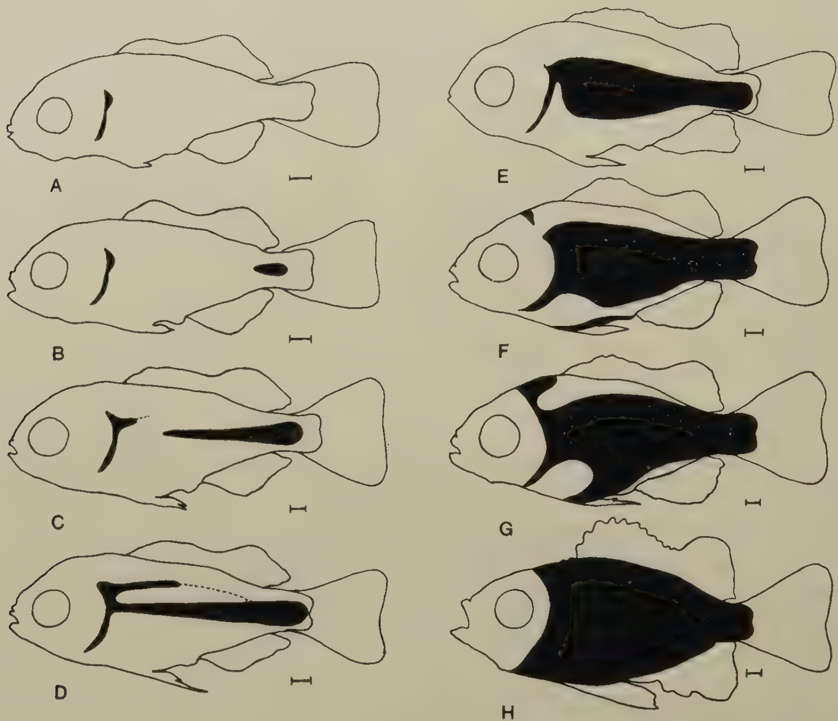


Fig. 5. Semidiagrammatic drawing of scale development of *Oplegnathus fasciatus*. Scales denote 1.0 mm.

3.　鱗の発生と生長

本種の鱗は長方形の櫛鱗できわめて小さく，発生は稚魚期移行後まもなく始まる。鱗の軀幹および尾部における発生を Fig. 5 に模式的に示した。鱗域の拡張経過はつぎのような8つの発達段階に分けることができる。

Stage A, 初生鱗は鰓蓋外縁，軀幹先端部に三日月状に出現する。上部域に出現した鱗はきわめて小さいが，下部のそれはやや大きく1列に鰓蓋外縁に沿って認められる。

Stage B, 前期に出現した鱗域に大きな変化はない。尾柄部体側中央線上に新たな鱗の一群が出現する。

Stage C, 軀幹先端に出現した鱗は側線に沿ってその範囲を拡げつつある。一方，尾柄部の鱗域は体側中央線上を頭部方向に拡がり，先端部ほど鱗列は少ない。

Stage D, 体側両端で発生した鱗は体側中央線上にそって連なる。側線は尾部まで形成され，それに沿って拡張していた鱗域は軀幹後方にまで達している。

Stage E, 側線上と体側中央線上にそれぞれ鱗域を拡げていた鱗は連なり，体側の約½を覆うようになる。

Stage F, 尾柄部は全て鱗で覆われ，体側全面の約⅔に鱗が出現している。軀幹部背側前方と腹側に，体

側の鱗域より離れて新しい鱗群が出現する。

Stage G, 前期に出現した鱗は，体側中央部のそれと連なり，鱗の認められない部位は，背鰭，臀鰭基部周辺の一部と腹腔部のみとなる。

Stage H, 体側全面が鱗で覆われる。

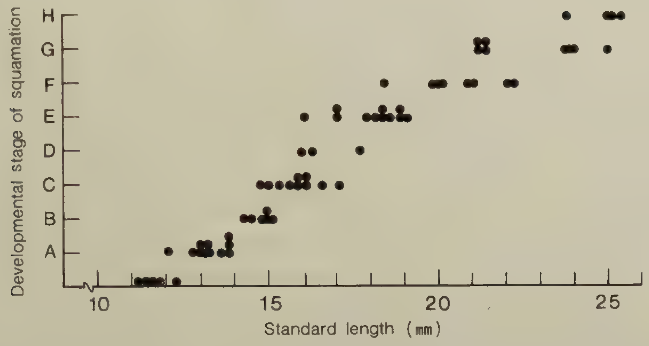


Fig. 6. *Oplegnathus fasciatus*. Developmental stage of squamation plotted against standard length. Illustration of the stage of scale formation see Figure 5.

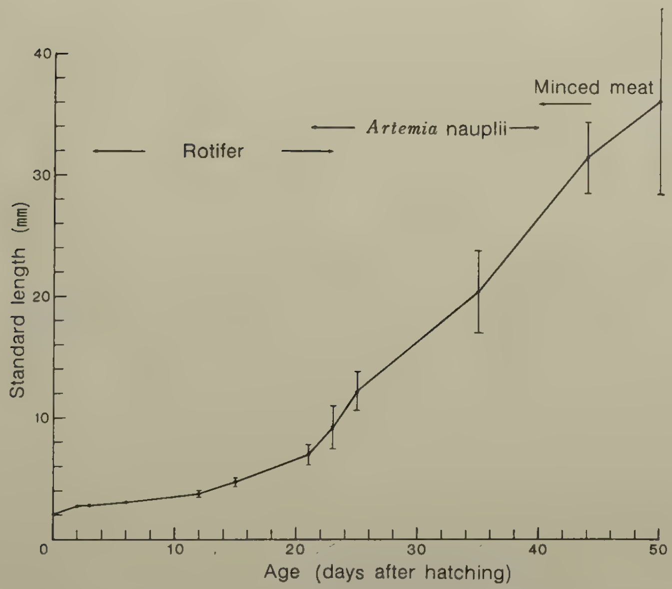


Fig. 7. Growth curve from newly hatched larvae through young for Ishidai, *Oplegnathus fasciatus* reared in the laboratory. Vertical bars indicate standard deviation. The feeding scheme is also shown. Number of each measurement represent number of specimens observed. Material was collected in 1976 except for day 35.

稚仔魚の成長に伴なう鱗の発生を知るため，前述した鱗の各発育段階に達する体長範囲を Fig. 6 に示した。鱗の未発生の最大個体は12.4mmで形成の始まりの最小個体は約12.0mmであった。鱗の形成は，2～3mm程度の変異を伴ないながら供試魚の体長増加に伴なって認められる。体側全面が鱗に覆われる個体の最小は約24.0mmで，遅くとも27.0mm以上の個体は初生鱗の形成を完了していると考えられる。また，鱗が形成される体長範囲を日齢との関係についてみると，今回得られれ稚仔魚の成長曲線（Fig. 7）から判断すれば，ふ化後約28日から38日の約10日間の期間に形成されていることになる。この形成期間は，形態的には稚魚への移行期あるいは移行直後の稚魚期に相当し斑紋の形成もほぼ時期を同じくして行なわれる。

初生鱗の形成がほぼ完了した約27.0mmから約50.0mmまでの標本の胸鰭中央部の体側上から3～4枚の鱗を採取し測定した。そして鱗長（R）と体長（SL）の関係を最小自乗法によって求め，$R=-0.013+0.0068SL$（N=54）が得られた。相関係数は0.833でやや分散が大きいといえる。稚魚の成育に伴なう鱗の形状変化は Fig. 8 に示したように体側全面に鱗が出現した時期は楕円形を呈し，中心は不明瞭で小棘も数本のみ認められるが30mm以上になると次第に外縁の各隅が鋭角化の傾向を示し，小棘，隆起線，溝条などのそれぞれの鱗紋要素も数的に増加する。そして約40～50mmになると外縁の各隅がほぼ直角になり，中心も明瞭に認められ全体の形状も長方形に近くなり，成魚の形状に似てくる。

器官の発達と飼育中の稚仔魚における行動との関連については，本種について福所[3]が詳細な論議を行なっている。特に斑紋との関連については稚魚期前後の飼育管理技術の上で有用であるとしている。今回観察した鰭，鱗などの発達は，斑紋の形成とほぼ同じ時期に行なわれていることからこれらの器官も斑紋と同様稚仔魚の生活様式の変化に関連していると考えられるので今後検討を加えていきたい。

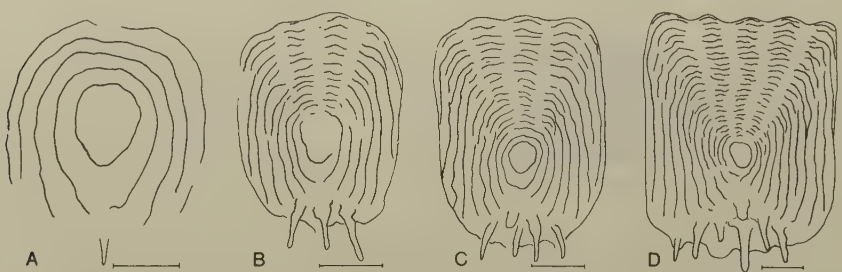


Fig. 8. Tracing of scale of *Oplegnathus fasciatus* from initial formation to the size of 50 mm standard lengtn at which the specimen has a feature of ctenoid. Scales denote 0.5 mm.

摘　　　要

イシダイ幼期における鰭の形状変化，分節，分枝および鱗の発生，生長を知るため卵から飼育した標本を染色して観察した。得られた結果はつぎのとおりである。

1）飼育に用いた卵，ふ化仔魚の大きさは，卵が直径0.87±0.020mm，ふ化仔魚が体長2.18±0.030mmであった。

2）鰭の形状は，後期仔魚期までは一般魚類と大差なく，稚魚期に至って背鰭，臀鰭の各後縁が垂直になり，本種の形態的特徴を示すようになる。

3）対鰭の成長に伴なう伸長は，$Y=0.207X+0.830$（Y，胸鰭，X，体長）および$Y=0.091X+0.070$（Y，腹鰭，X，体長）で示された。

4）各鰭の分節は体長8.0〜10.0mmの間で完成し，分枝は体長20.0mmから完成する鰭が現われ，体長30.0mmまでにすべて完了する。

5）鱗は，軀幹前端と尾柄後端の2カ所から発生し，体側中央線上と側線に沿って鱗域を拡張し，体側中央部で連なった後，その鱗域を背側，腹側方向に拡張した後，体側全面を覆う。

6）鱗の形成は，体長約12.0mmから始まり，体長25.0mmにはほぼ完了する。この間の日齢はふ化後25日から39日に相当した。

文　献

1）水戸敏，1956：イシダイの卵発生と仔魚期．九大農学部学芸雑誌15(4)，501—506.

2）内田恵太郎，1926：イシダヒ *Oplegnathus fasciatus* (Temminck & Schlegel) の稚魚に於ける斑紋の形成及び習性に就て．動物学雑誌38(454)，228—237.

3）福所邦彦，1975：イシダイ稚仔魚飼育指標としての斑紋の形成．魚雑22(1)，23—30.

4）福原修，1976：マダイ稚仔魚の形態学的研究—Ⅰ，鰭の形成について．本誌(9)，1—11.

5）福原修，1976：マダイ稚仔魚の形態学的研究—Ⅱ，初生鱗の発生と生長．同誌，13—18.

6）大島正満，1940：魚．541p.，三省堂.

7）冨山一郎・阿部宗明・時岡隆，1958：原色動物大図鑑Ⅱ．392＋86pp.，北隆館.

8）阿部宗明，1964：原色魚類検索図鑑．X＋358pp.，北隆館.

9）桧山義夫・安田富士郎，1971：日本産魚類大図鑑．342pp.，講談社.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 19~25 (1978)

マダイ天然稚仔魚と飼育魚における二，三の外部形態の差異について

福 原 修・国 行 一 正

Morphological Development in the Wild Larvae of Madai, *Chrysophrys major*, as Compared to That in the Laboratory-reared Larvae

Osamu FUKUHARA and Kazumasa KUNIYUKI

Knowledge on the functional differences between artificially reared fish and wild ones is indispensable for the effective utilization of artificially reared seedlings in releasing to natural ground. The present paper describes the result of observation on the development of fins, scales and transverse stripes in the wild larvae of Madai, *Chrysophrys major* as compared to that in the reared ones.

The wild specimen, 194 fish were collected by small trawler off Onomichi, Hiroshima prefecture during the period from spring to autumn in 1977. They ranged from 6.1 mm to 106.0 mm in standard length. Methods of observation were similar to those in FUKUHARA (1976a, b, 1978).

Development of fins, as observed by their segmentation and branching, was similar to a large extent to that of reared ones in timing. Segmentation occurred within short period and branching was observed after the segmentation was completed when the larvae attained about 8.0 mm in standard length. Increase in the length of paired fins also showed similar trend as observed in the reared ones.

Appearance of scales and their growth rate in the wild larvae were also similar to those in the reared specimens.

Only difference so far observed was in the formation of the transverse stripes. The stripes appeared at larger size in the wild larvae than in the reared ones.

人為的条件の下で養育された生物は自然条件の下で育ったものより形質的にその特性を異にすることが，それらの育ってきた諸条件のちがいから想像される。最今，盛んに実施されているマダイ人工種苗の放流による資源培養においてもこうした天然魚と人工飼育魚の生物学的な差異が飼育魚の利用技術の確立に際して少なからず問題となり，放流種苗の有効的利用あるいは放流後の生態解明の上で一つの隘路となっている。しかしながら人工種苗の生産が行なわれるようになってからの歳月が浅いこともあって天然魚との生物学的な差異についての検討はほとんど行なわれていない。

最近，安楽・畔田[1]は天然と養成マダイの幼稚魚期における成長や化学的性状などについて研究し，代謝機能の面で両者の間に差異があることを示唆している。また，本種の天然標本の形態については内田ら[2]が

1978年8月8日受理，南西海区水産研究所業績　第77号

研究し，主として香川県で採集した全長9.2mmから20.5mmまでの稚魚について明らかにしている。

マダイに限らず栽培漁業において人工的に生産した種苗を効率よく利用するためには，まず対象魚種の人為的条件下と天然における生物学的特性を充分明らかにし，それぞれに適した方法を確立する必要がある。こうした観点から今回これらに関する基礎的知見を得るため瀬戸内海中部の布刈瀬戸海域において採捕した天然マダイの外部形態についての観察を行ない，人工飼育魚において観察した結果（福原）[3)4)5)]と若干の比較観察を行なったので報告する。

本研究を実施するに際して貴重な標本の採捕に御協力いただいた内海資源部尾道分室高森茂樹技官ならびに尾道市吉和漁業協同組合，浜田鶴三氏に深謝する。また実験の実施に御理解と御助力をいただいた内海資源部矢野実室長，増殖部阪口清次室長に心から感謝いたします。さらに内海資源部長倉田博博士には本文の校閲をしていただき，梅沢敏技官には統計的処理について御指導いただいた記して謝意を表する。

材料と方法

観察に用いた天然魚は1977年6月12日から10月1日にかけて，瀬戸内海中部の布刈瀬戸周辺において袋待網および小型底曳網で採捕したものである。（Fig. 1）採捕はいずれも昼間行ない，標本は採捕後10%ホルマリンで固定した後，水産研究所（佐伯郡大野町）に持帰った。外部形態の観察方法は前報と同様である。

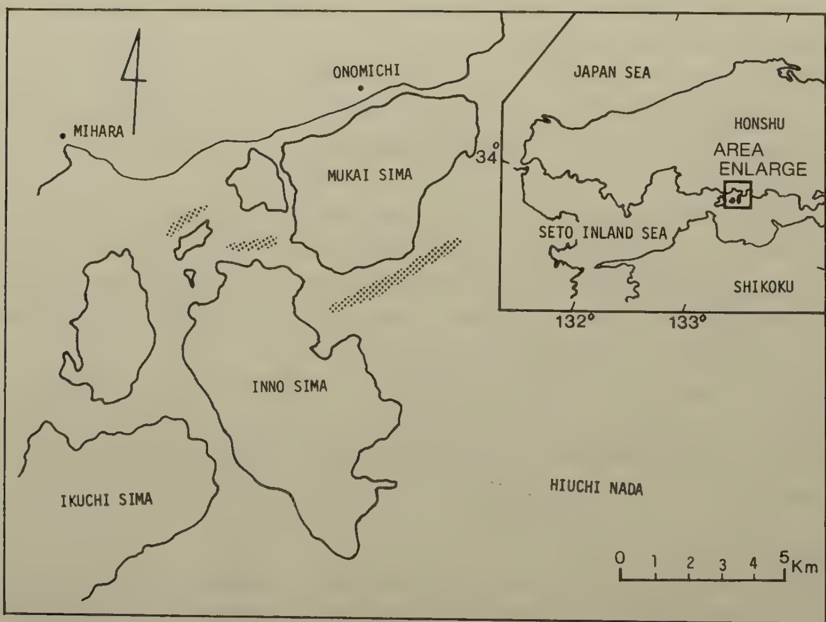


Fig. 1. The wild specimens were collected by a small trawler from the dotted area in the figure.

結　　果

天然標本を採捕した期間の南西水研尾道分室定置観測点（尾道市営桟橋，標本採集地点より8～10km，高森技官観測）における旬別平均水温は19.9°C～23.7°Cの範囲であった。Table 1に標本の採捕月日，尾数および大きさ等を示した。大きさは標準体長6.1mm～106.0mmで標本数194尾である。発育段階は後期

Table 1. Records of wild specimens of red sea bream collected in 1977.

Date	Number of specimens	Standard length mm		
		Range	Average	SD
12 June	7	6.1–8.8	7.5	1.13
13	8	8.0–10.8	9.6	1.05
21	11	8.4–12.8	10.6	1.53
25	15	8.3–12.3	10.7	1.21
26	4	10.7–12.9	11.8	0.92
7 July	7	15.4–21.8	19.5	2.09
11	35	18.1–36.2	24.3	4.00
14	6	24.5–27.1	26.4	1.00
15	46	22.3–37.1	27.2	3.43
18	4	26.3–32.4	29.7	3.07
29	11	33.0–46.1	40.4	4.87
25 August	8	53.8–76.3	68.6	7.83
1 October	28	86.0–106.0	91.8	4.76

仔魚期から幼魚期に相当する。

鰭の発達

対鰭と不対鰭の軟条の分節，分枝を Fig. 2 に示した。縦軸は各鰭の鰭条定数を示している。点線部は人工飼育魚において観察された各鰭の分節，分枝の形成範囲を示している。

天然魚においては分節は，背鰭，臀鰭で約8.0mm，尾鰭で約7.0mmそして対鰭で約10.0mmでそれぞれ完了しその形成過程は飼育魚とよく類似している。また分節はきわめて短期間のうちに行なわれることを示している。一方，分枝は天然魚においても形成期間は分節のそれより長く，体長約20mm～30mmの間で行なわれる。形成完了時期については飼育魚と大きな差異はないと判断できるが，背鰭，臀鰭および胸鰭においては飼育魚のそれと形成過程にやや時期的差異を生じている。特に胸鰭においては，分枝開始の体長が飼育魚と比較してやや大型である。腹鰭の分節，分枝が重復する点は天然魚においても同様認められた。

体長（X）の増加に伴なう対鰭の長さ（Y）の変化についてみると，

胸鰭は

$Y=0.269X-0.788$ ($r=0.988$, $X\leqq 50$mm SL)

$Y=0.326X-1.870$ ($r=0.996$, $50<X\leqq 106$mm SL)

腹鰭は

$Y=0.240X-0.041$ ($r=0.993$, $X\leqq 50$mm SL)

$Y=0.284X-0.956$ ($r=0.969$, $50<X\leqq 106$mm SL)

でそれぞれ示された。体長50mm以下と50～106mmの標本についての関係式をみると，腹鰭については両群の間に大きな差は認められないが，胸鰭は成長するに従がい増加率が変化することを表わしている。体長50mm以下の飼育魚で得られた結果では，胸鰭は$Y=0.233X-0.182$，腹鰭は$Y=0.267X-0.489$でそれぞれ表わされ，天然魚と飼育魚の間には大きな差は認められない。天然魚の成長に伴なう尾鰭後縁の形状変化を，飼育魚で行なったと同様に区分すると円形（A type）が体長7.9mmまで，截形（B type）が7.9～10.8mm，湾入形（C type）が9.5～18.4mm，叉形（D type）が18.1mm以上であった。いずれも截形を呈する期間はきわめて短かく，天然および飼育標本の外部形態に現われる稚魚期前後の指標的特徴といえる。

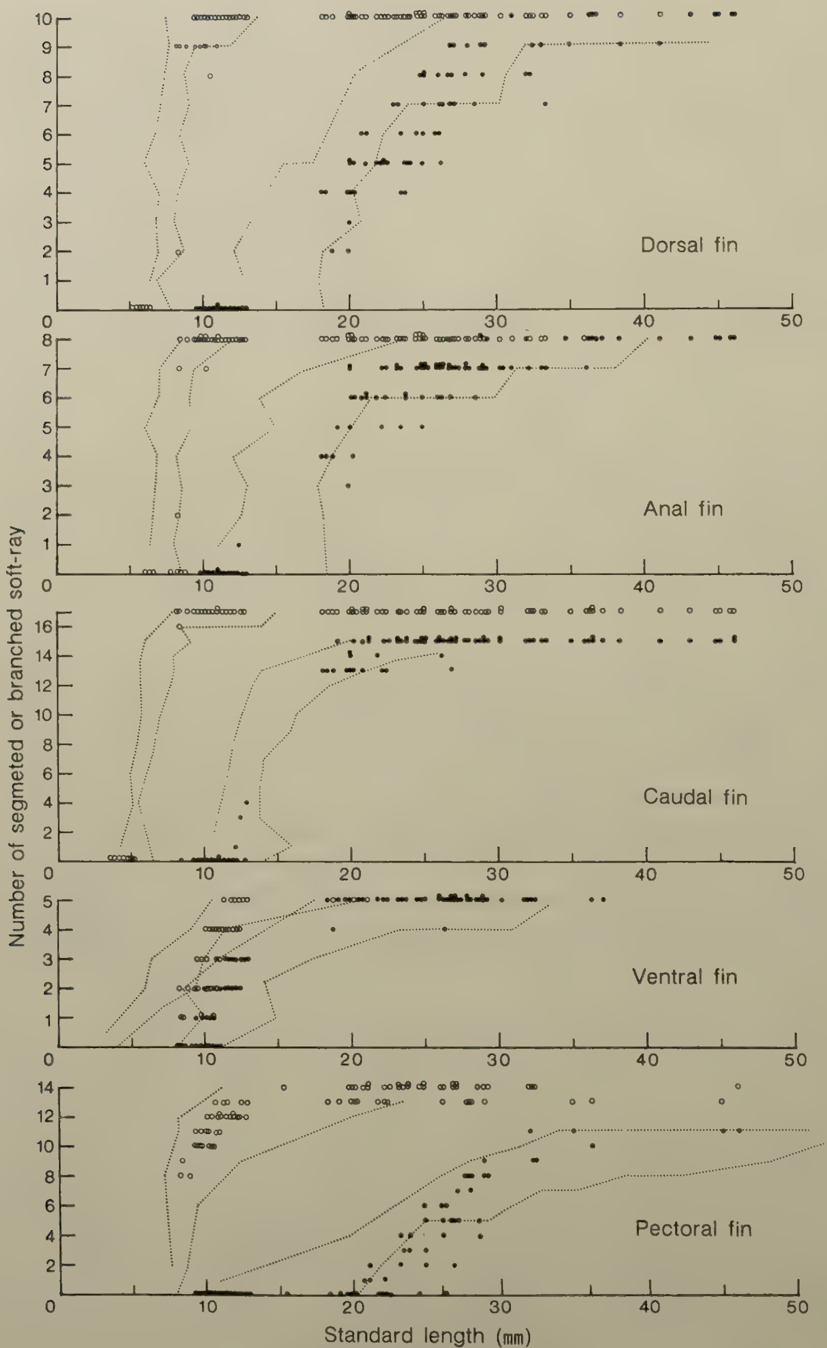


Fig. 2. *Chrysophrys major*. Segmentation (open circles) and branching (closed circles) of fins in the wild specimens plotted against standard length. Equivalent data for the reared specimens are shown by dotted lines for segmentation and branching.

鱗の形成

天然幼稚魚の成長に伴なう鱗の発達を発生段階基準に基づいて区分し表わしたのが Fig. 3 である。標本数が充分でないが，ほとんど飼育魚の各発生段階の範囲内にあり両者の間には大きな差がないことを示している。すなわち稚魚期移行前後の体長8.0mm頃から形成され始め，短期間のうちに完了する。また，

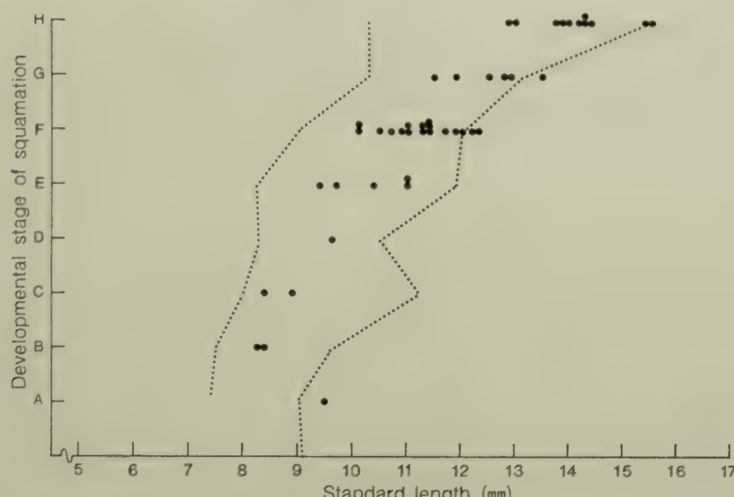


Fig. 3. Relation between developmental stage of squamation and standard length for the wild specimens of *Chrysophrys major*. Dotted lines show the range within which squamation of the laboratory-reared specimens was observed. See Fukuhara (1976 a, b) for the developmental stage of A-H.

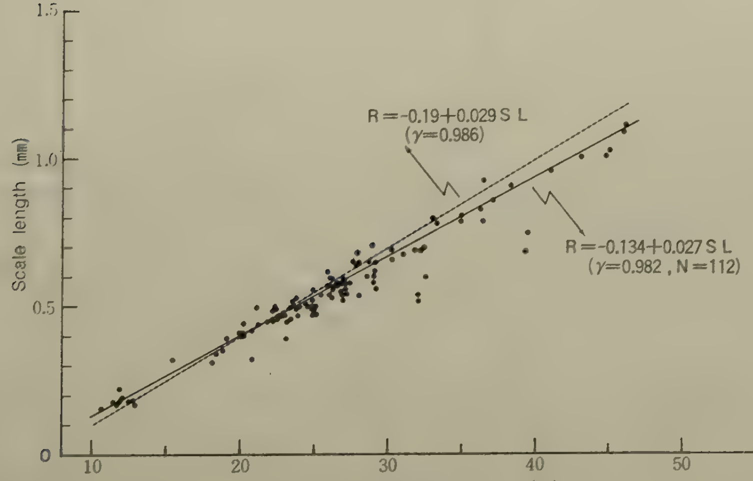


Fig. 4. Relationship between scale length (R) and standard length (SL) in the wild Madai, *Chrysophrys major*. Broken line indicates the relation for the reared specimen.

Fig. 4 に胸鰭基部周辺から採鱗し，前報と同様の方法で鱗長測定した結果を示した。体長50mmまでの飼育魚における鱗長（R）と体長（SL）の関係は R＝−0.19＋0.029SL であるのに対し天然魚は R＝−0.134＋0.027SL で示され，相関も高く両者の間に差異は認められない。また，体長106.0mmまでの鱗長は，R＝−0.236＋0.0306SL で表わされた。鱗の周縁形状も飼育魚と同じように体長30mm前後から両隅が直角になり，各鱗紋要素が明瞭となって櫛鱗としての形態的特徴を現わすようになる。

斑紋の形成

飼育魚においては，斑紋が平均体長6.5mm〜10.0mm，ふ化後日数にして27日〜40日の間に形成されることを認めた（福原）[5]。同一の区分基準に従って天然魚における斑紋形成を区分してみると Fig. 5 のように表わされる。天然魚と飼育魚における斑紋の各発達段階は体長にして2.5mm前後のちがいがあり，他の器官と異なり形成期間が明瞭に区別できる。すなわち，飼育魚では斑紋未形成の最大個体が7.3mm，斑紋完成の最小個体が約9.0mmであるのに対し，天然魚においては前者が9.9mm，後者が11.3mmを示している。

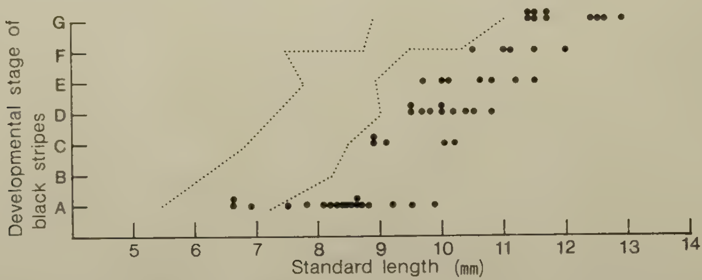


Fig. 5. Developmental stage of black stripes plotted against standard length in the wild specimens of *Chrysophrys major*. The comparable data for the reared specimens was shown by dotted lines. Refer to FUKUHARA (1978) for the details of developmental stage.

考　　　察

育ってきた環境条件が異なることからすれば，天然マダイと飼育マダイでは生態的にも生理的にも差異があると考える方に無理がない。またこれらの差異は形態学的にも行動学的にも異なる可能性を暗示させる。しかしながら形態的には今回観察した鰭，鱗あるいは斑紋の発生，分化から判断すると標本数および採集水域の特殊性などの問題を含んでいるものの，両者の間に顕著なちがいは認められなかった。生物の成育は連続的かつ段階的に起ることを考えれば，今回観察した天然マダイと飼育マダイの各器官における発達経過が著しく変化するとは考えられない。このことは人工的に飼育したマダイも形態的には天然マダイと同じ“生活ができる”条件を具備しているとも言える。

今回供試した天然標本と内田ら[2]の天烈標本における観察結果と比較してみると，鱗の発生について内田らは全長9.2mm（香川県で採集，付図からの推定体長7.5mm）では鱗の発現はないが，全長12.0mm（同推定体長9.4mm）で体側に鱗があることを認め，さらに全長13.5mm（同推定体長11.1mm）で体側全面に鱗が出現していることを認めている。これらの体長増加に伴なう発生経過は，本報 Fig. 3 における飼育魚および天然魚の発生経過の範囲内にある。一方，斑紋の形成は推定体長9.4mm，11.1mmの稚魚で Fig. 5 の最初の斑紋が出現した *Stage D* に相当する標本を認め，さらに体側5横帯の完成個体すなわち

Stage G にあたる標本を推定体長12.6mmとしている。これらの標本はいずれも今回供試した天然魚の斑紋形成と同じ範囲内にある。また，上田* は同じ広島産天然マダイの斑紋について観察し未形成の最大個体が9.9mm，形成の最小個体が12.8mmであったとしている。これらの体長も飼育魚のそれとは区分できる範囲にある。このように鱗，斑紋の発生が従来の知見とよく一致することからも今回供試した標本が天然標本として特殊な成育を示す標本でないことをうかがわせる。斑紋の形成のみが飼育魚と天然魚とで異なる点は従来の知見だけでは明らかでないが，鰭，鱗などには差異が認められないことからこの原因を餌料を主体とする両者の成育条件のちがいによる成長差にだけ求めるのは今のところ困難であろう。

人工種苗の増養殖面への有効利用に際しては天然魚（天然種苗）との形質的差異が理論的，実際的に問題になるためさらに生理的機能についての検討をも行ない，まず両者の形質的相違の有無と程度を明らかにする必要がある。

摘　　　要

天然マダイの幼期における外部形態を明らかにし，飼育魚と比較検討するため，その一例として瀬戸内海布刈瀬戸において採集した標本について鰭，鱗および斑紋等の発達を観察した。標本の採集は小型底曳網にて1977年６月12日から10月１日まで行ない，得られた標本，体長6.1mmから106.0mmまでの194尾について観察した。結果の主な点はつぎのとおりである。

1）各鰭の成長に伴なう形状変化は，飼育魚と同様で軟条の分節，分枝および対鰭の長さの増加も巨視的には顕著な差異は認められなかった。すなわち体長8.0mm前後で各鰭が形成され，稚魚期に移行する。

2）鱗の出現から体側全面を覆うまでの発生は飼育魚，天然魚とも同様な経過をたどることが認められ，既往の知見ともよく符合した。天然魚の鱗長の増加は，体長50mmまでは $R=-0.134+0.0265\,SL$，体長106.0mmまでは $R=-0.236+0.0306\,SL$ でそれぞれ示された。

3）体側における５横帯の斑紋の形成は天然魚と飼育魚との間では明瞭に区分できる体長範囲で認められ，前者がやや大型であった。またこの傾向は，他の水域で採集された天然標本との間にも認められた。

4）以上のことから幼期におけるマダイは形態的には天然魚と飼育魚の間に特に顕著な相違はないものと考えるに至った。

文　　　献

1）安楽正照・畔田正格，1973：天然および養成マダイ幼稚魚の体成分の差異．西水研報(43)，117—131.

2）内田恵太郎・今井貞彦・水戸敏・藤田矢郎・上野雅正・庄島洋一・千田哲資・田福正治・道津喜衛，1958：日本産魚類の稚魚期の研究，第１集．九大農学部水産学第二教室，viii＋89pp., 86pls.

3）福原修，1976：マダイ稚仔魚の形態学的研究－Ⅰ，鰭の形成について．本誌(9)，1—11.

4）福原修，1976：マダイ稚仔魚の形態学的研究－Ⅱ，初生鱗の発生と生長．同誌，13—18.

5）福原修，1978：マダイ稚仔魚の形態学的研究－Ⅲ，斑紋の形成．本誌(11)，１～８.

＊昭和50年度「資源培養方式開発のための沿岸域における若令期タイ類補給機構の研究」現地検討会資料

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 27~32 (1978)

マダイにみられた *Philometra* 属の線虫について—I.

虫体の形態的特徴と種名

阪口清次・松里寿彦

On a Nematode, *Philometra* Found in a Red Sea Bream, *Chrysophrys major*-I.

Morphological Characteristics and Taxonomic Consideration

Seiji SAKAGUCHI and Toshihiko MATSUSATO

A species of nematode was found in the body cavity of a red sea bream, *Chrysophrys major* caught by a commercial fishing boat in Kariya bay, Saga prefecture. This parasite had never been reported previously from red sea bream in Japan. The parasite was observed morpholgically in detail to compare with other similar species.

The specimen, fixed in 10% formalin solution was 185mm long and 1.2mm wide, with cylindrical shape, except both extremities. The cuticle was thin with a smooth surface. The oesophagus was muscular, measuring 1.1 mm long and 0.13mm wide. The nerve ring was situated at a distance of 0.2mm from the tip of head. At the back of the nerve ring, the oesophagus gland is located dorsal to the oesophagus. The intestine which ends blindly near the tail was very large and along with the uterus occupies most of the body cavity. The uterus was packed with larvae and eggs of different developmental stages. The uterus ended behind the anterior portion of intestine. The cylindrical ovaries were located at each end of the uterus.

The larvae were filariform and ranged between 380—490μ long and 11—13μ wide. The oesophagus was a narrow muscular, homogeneous tube which protruded into the lumen of the intestine. The anus was situated at approximately 1/3 of body length from the posterior end.

From these observation, the present specimen could be identical with *Philometra spari* YAMAGUTI 1961, detected in the swim bladder of *Sparus macrocephalus*. This species is distinguishable from other member of the genus *Philometra*, because only in this species is the distal end of the uterus located behind the anterior extremity of intestine.

佐賀県東松浦半島の西岸域で漁獲された天然マダイについて，内部器官の解剖視察を実施したところ，腹腔内からかなり大型の線虫が見出された。

1978年8月26日受理，南西海区水産研究所業績　第78号

本種は *Philometra* に属する線虫であることが明らかになった。

本属の線虫は本邦の海産魚では，スズキ，キジハタ，オニオコゼ，マナガツオ，カサゴ，メバル，クロダイ，カレイ，ハゼ類などから数種のものが見出され報告されているが，[1)2)3)4)] マダイでは未報告である。

今回の発見尾数は僅か1個体であったが，「時期によってはこの虫の発見はかなり容易である」との漁業関係者の言からすると，本種のマダイにおける寄生は，かなり一般的なものとも考えてよい。

本科線虫の中には *Philometra marinae* のようにマコガレイやハゼ類の表皮下に赤褐色の隆起した瘤塊を形成するもの[4)5)]，近縁種の *Philometroides cyprini* のように錦鯉などの鱗片下に赤斑瘤塊を形成して鱗を隆起させるもの[6)]，また，*Philometroides seriolae* のようにブリの筋肉や血合肉内に寄生して嫌忌感を与えるもの[7)] などがあり，いずれも商品価値価を著しく低下させている。

マダイにおいて，この種による病害の発現があるかどうかについては明らかでないが，本種がもし上記の種類のような寄生生態をとるものであるとすると，筋肉あるいは鱗片下へ移行して瘤塊などを作ることが考えられ，姿，形を以って珍重されているマダイでは，とくにその寄生が問題になることが予想される。

本種のマダイにおける寄生生態については今後の課題として究明されなければならないが，本報では，まず，得られた成熟雌虫及び子宮内仔虫の形態について観察し，種名について検討した。

稿を草するにあたり，指導と校閲を賜わった保科利一博士ならびに淡水区水産研究所水質病理部長藤谷超博士に深謝する。また，実験材料の採取のさいに御協力いただいた佐賀県水産試験場の関係者の方々に心から感謝の意を表する。

材　料　と　方　法

1977年6月28日，佐賀県仮屋湾で漁獲された全長30cmのマダイ *Chrysophrys major* の腹腔内から得られた成熟雌虫1尾を材料とした。標本は採取後，ただちに10%ホルマリン液で固定し保存した。

体長，体幅などは未圧平の状態で測定し，虫体の形態の細部についてはラクトフェノールで透明化し，必要に応じて各部で切断，頭部はとくに正面から強拡大で観察した。

虫　体　の　形　態

得られた成熟雌虫は，体の頭端と尾端付近を除けばほぼ同じ太さの円筒形で，両端は鈍円を呈する。角皮層は薄く，体表面は平滑であり，未圧平の状態で体長185mm，体幅1.2mmである。頭部を正面からみると，三叉状の口とその囲りにやや隆起した直径0.12mmの前端膨隆部がみられる。その周辺部については強拡大で検鏡したが，乳嘴突起は観察し得なかった。食道は長さ1.1mm，幅0.13mmの筋肉性の管状で，頭端から0.2mmのところに神経環が位置し，これよりやや後方の背側に食道腺がみられる。食道末端は顕著な突出構造をもって腸に連なる。腸はかなり幅広く，最大幅で0.4mmの単純な細長管であるが，尾端付近で内腔を失ない索状突起となって終る。肛門は認められない。

子宮は体腔のほとんどを占める幅広い薄壁の盲嚢で体腔内を前後に縦走する。前方へは腸管の始部のやや後方付近まで，後方へは体腔の後端近くまで達する。子宮内には発育段階の異なる卵と仔虫を充満していた。試みに子宮内仔虫の概数を把握するため，稀釈法により計数盤を使用して顕微鏡下で数えた。反復20回の資料から，本虫の子宮内には$56.4\times10^4\pm11.8\times10^4$体の仔虫が抱含されていると推定された。しかし，子宮内には，まだ孵化していない受胎卵もみられるので，実際の仔虫数はさらに多くなるものと推察される。卵巣は子宮の前後に1個ずつあり，前卵巣は腸始部付近まで前方に向った後に反転し，後卵巣は後方へ向った後に反転し，それぞれ体の中央部へ向けている。前卵巣は3.4mm×0.12mm，後卵巣は2.2mm×0.12mmを算する。

子宮内にみられる初期の受精卵は直径約20μの球形であるが，定則どおり卵割が進み，桑実期，胞胚期を

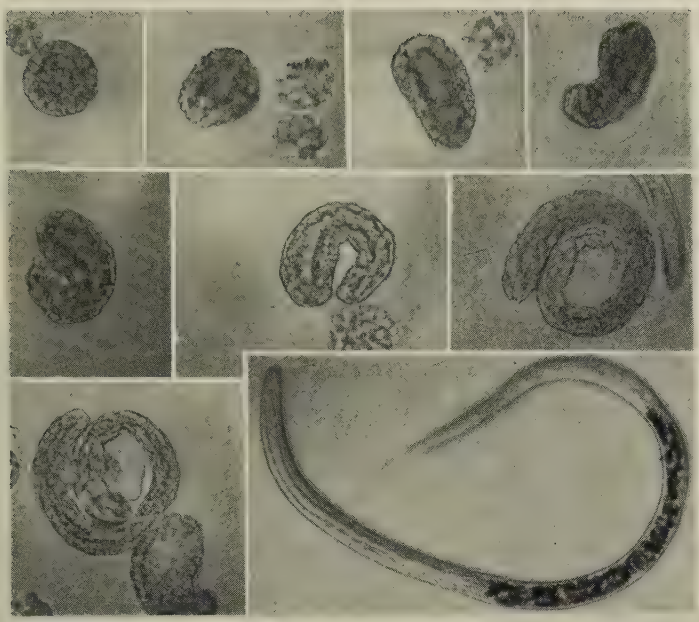


Fig. 1. Development of nematodes, *Philometra*, in the uterus of female.

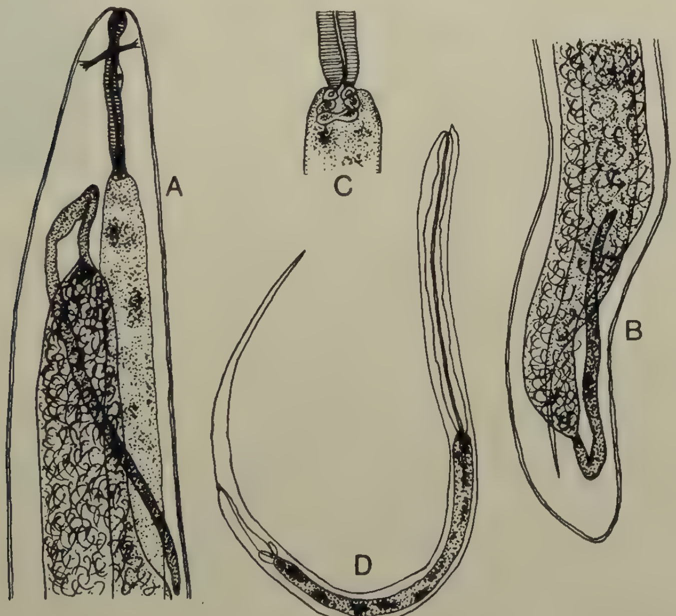


Fig. 2. General anatomical features of the worm obtained from the body cavity of *Chrysophrys major*.

A. Anterior part of gravid worm.
B. Posterior part of gravid worm.
C. Enlarged end of oesophagus showing glandulor ventriculus and appendix.
D. A larva from the uterus of a gravid worm.

経て，胚を形成する。胚子は伸長するにつれて卵膜中でコイル状を呈し，次第に成長し，体長200～220μになると孵化する。孵化仔虫は全体としては糸状を呈するが，その他鎌状あるいは環状に巻曲してみられる。大きさは体長380～490μ，体幅11～13μである。尾部は非常に細長く尖っている。頭部には未発達の口唇と穿孔歯がみられる。食道は未発達の同質同型の筋肉性の管状で140～155μ，その末端は腸内に連結している。腸の長さは120～140μで体腔内を後方にむけて直走し，後腸を経て肛門に至る。肛門は尾端から体の1/3あたり開口している。

考　　察

マダイの腹腔内から得られた本種は角皮の表面は平滑で，体は頭端，尾部を除けばほぼ同じ太さの円筒形である。食道は同質同形の管状を呈し，その末端は三型状辨の付属器官をもって腸と連なっている。腸は尾端付近では内腔を失ない索状突起となっている。

子宮は体腔のほとんどを占める巾広い薄壁の盲嚢で，体腔内を前後に縦走し，とくに前端は腸始部よりも後方の位置で終っているのが特徴である（Fig. 3)。子宮の前後の端に1個ずつの卵巣が存在する。



Fig. 3. Showing the different position of uterus endings comparing with other species.

このような形態的特徴から，本種は *Philometra* Costa 1845に属することは明らかであり，Table 1 で比較したように，山口[3]がクロダイの鰾から得た線虫 *Philometra spari* ときわめて類似している。クロダイからの *P. spari* も未成熟雌虫1尾のみであるので，体長や子宮内の胚子なども直接比較はできないが，本種の子宮内に包含されている同一発育段階の卵をくらべると大きさの点ではほとんど一致している。卵巣の形態については，山口は *P. spari* は前卵巣は1回転して頭部の食道膨出部の後方近くに達し，後卵巣は後端において2回転した後に体中央部へむけて伸びていると述べている[3]。本種では子宮からはまず両端へむけ，間もなく反転，後，体中央部へ向けて伸びている。このように卵巣の配置のうえでは違いがみられるものの，別種ではあるが，アカハゼに寄生する *Philometra* sp. についての前・後卵巣の形態，配置を検討したところ，(1)前，後方へ向けて直進，(2)前，後方へ向かった後反転，(3)前，後方へ向かった後2回反転，などの型の変異がみられたことから，卵巣の配置そのものは大きな特徴とはならないものと考えられる。また，とくに子宮の前端が腸始部の後方で終っている特徴は，他の多くの *Philometra* 線虫と本種を識別できる充分な相違点と考えられる。

Rasheed[8]は*Philometridae* 科の分類規準として，角皮表面の附属突起，頭部の形態と乳嘴突起，食道の構造，尾端の形態と乳嘴突起の有無などを重要視して，本科を8属に分類した。

さらに，*Philometra* 属については，頭端に基本的には8個の乳嘴突起が配置されており，位置と形が重要な分類規準の一つとなるとしている。本邦産の海産魚から見出された *Philometra* 属の線虫は，山口[1)2)3)]町田[4]らにより9種が報告されているが，Rasheed の云うような頭端の乳嘴突起についてはいずれも存在の否定あるいは未記載となっている。本種の場合も頭部について強拡大で正面から観察したが，乳嘴突起の存在を認め得なかった。この点については，僅か1尾の虫体のため，頭部切断のさいに一部が破損し充分に観察し得なかった未確認さもあり，今後の虫体の採集により詳細に検討し明らかにしたいと考えている。

なお，成熟雌虫がマダイの腹腔内から見出されたことに関しては，産仔現象がどのように行なわれるかが問題として残る。スジハゼに寄生する *P. marinae* は産仔のために筋肉繊維の間を穿孔する寄生部位の移

Table 1. Dimensions of *philometra spari.*

	YAMAGUTI (1961)	Present authors
Host and habitat	Swim bladder of *Sparus macrocephalus*	Body cavity of *Chrysophrys major*
Locality	Seto inland sea	Kariya bay, Saga pref.
Material	A single not fully developed female	A single fully developed female
Body length	110mm	185mm
Body width	1.4mm	1.2mm
Oesophagus length	0.83mm	1.1mm
Immature ova	13—26μ	15—26μ
Developed larvae	———	380—490μ×11—13μ

行が，穿孔機構を有する発育段階のうちに行なわれる。本科線虫のコイに寄生する *Philometroides cyprini*, ブリに寄生する *Philometroides seriolae* などでも，産仔のための体表面への移行が成熟段階に至る以前に行なわれる。本種の成熟雌虫では，穿孔のための器官がとくに発達しているとは認め難いので，産仔が腹腔内で行なわれるか，あるいは他の種類におけるように宿主体外に脱出した後に行なわれるかなどマダイ体内における寄生生態について今後究明していきたい。

摘　　要

天然産マダイの腹腔内から得られた大型線虫について，虫体の形態を観察し，既知種と比較し種名について検討した。

成熟雌虫は，頭端，尾端を除けばほぼ同じ太さの円筒形で両端は鈍円を呈する。角皮は薄く，体表面は平滑で体長は185mm，体中は1.0mmである。食道は長さ1.1mm，巾0.13mmの筋肉性の同形同質の管状で，頭端から0.2mmのところに神経環が位置し，これよりやや後方背側に食道腺がみられる。腸はかなり巾広い単純な細長管で，尾端付近で内腔を失ない索状突起となって終る。肛門は認められない。子宮は体腔のほとんどを占める巾広い薄壁の盲嚢で，体腔内を前後に縦走する。前後の端に1個ずつの卵巣があり，前卵巣は3.0mm×0.12mm，後卵巣は2.4mm×0.12mmを算出する。頭部乳嘴突起は観察し得なかった。

子宮内仔虫は糸状を呈し，体長380～490μ平均で441.3±25.4μ（n＝20），食道は未発達の同質同形の筋肉性の管状で140～150μを算し，その末端は腸内に連続している。腸は120～140μで，体腔内を後方に向けて直走し，後腸を経て肛門に至る。肛門は尾端から体の1/3あたりに開口している。

本種を本邦産の既知の *Philometra* 属の線虫と比較検討した結果，クロダイの鰾に寄生する *P. spari* Yamaguti,, 1961ときわめて類似の線虫であることがわかった。

文　　献

1）YAMAGUTI, S., 1935 : Studies on the Helminth Fauna of Japan. Part 9. Nematodes of Fish I. Jap. J. Zool., 338—386.

2）———, 1941 : ———. Part 33. ———II. Jap. J. Zool., 344—397.

3）———, 1961 : ———. Part 57. ———III. J. Helminth., R. T. Leiper Supplement, 217—228.

4）町田昌昭，1970：マコガレイにみられた *Philometroidae* 科線虫寄生の１例. 魚病研究，**5**(1)，21—24.
5）山口義昭，阪口清次，後藤幹夫，1973：海産底棲魚類に寄生する線虫に関する研究－Ｉ．広島湾北西岸域における分布と成虫の形態．本誌，(6)，９—16.
6）石井重美，1916：本邦産鯉ノ「ふいらりあ」病観察．水産講習所試験報告，**12**(5)，14—24.
7）中島健次，江草周三，中島康夫，1970：ブリに寄生する線虫 *Philometroides seriolae* の魚体脱出現象について．魚病研究，**4**(2)，83—86.
8）Rasheed, S., 1963: A revision of the Genus *Philometra* Costa, 1845. J. Helminth., (37), 89—130.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 33～46 (1978)

細ノ州におけるアマモ及びアカモクの消長とそれに付着する動植物群量の時期的変動

月 舘 潤 一・高 森 茂 樹

The Seasonal Fluctuation of the Biomass of *Zostera marina* and *Sargassum horneri* and Their Attached Zooplankton and Phytoplankton in Hosonosu, Hiroshima Prefecture

Jun-ichi TSUKIDATE and Shigeki TAKAMORI

The annual fluctuation of the biomass of *Zostera marina* and *Sargasssum horneri* and the attached zooplankton and phytoplankton on the surface of both *Zostera marina* and *Sargassum horneri* were investigated in Hosonosu, off Mihara Strait, Hiroshima Pref. from May, 1976 to November, 1977.

The following results were obtained.

1. Total length of *Zostera marina* was a maximum in July both for 1976 and for 1977.
2. Wet weight of *Zostera marina* did not show big difference during the year both for 1976 and for 1977.
3. Density of *Zostera marina* was high during the period from spring to summer and low from fall to winter.
4. *Sargassum horneri* died out in July and a new plant came out in August.
5. The number of phytoplankton attached on the surface of both *Zostera marina* and *Sargassum horneri* was approximately 10^4 to 10^5 per 100g of the plant. There was no big differerence in number of phytoplankton between *Zostera marina* and *Sargassum* horneri.
6. *Licmophora* appeared to dominate from spring to summer and *Grammatophora* from summer to fall on both *Zostera marina* and *Sargassum horneri.*
7. Dominant species of phytoplankton differed from month to month.
8. Wet weight of zooplankton attached on the surface of both *Zostera marina* and *Sargassum horneri* was big in the months of June, and August.
9. It was assumed that attached zooplankton have more preference to *Sargassum horneri* than to *Zostera marina.*

藻場は沿岸性水族の生産に多くの関連を有し，資源という観点から重要な意義を有する区域である[1]とされている。藻場のひとつであるアマモ場の意義づけはいろいろあるが，布施[2]は，1）アマモは卵を産みつけるものとして都合がよい。したがってアマモ場は，水族の産卵場となる。2）また珪藻，ワレカラ，ヨコエビ類などの魚類の食物となる付着性の生物が多く魚類にとっての採食の場となる。3）アマモの同化作用

1978年9月23日受理，南西海区水産研究所　第80号

の結果，酸素が多く，水が清く，水族が集まって生活する場所としてよい。４）波が静かで幼弱な稚魚の生息に適する。５）稚魚が外敵から逃れるためにかくれやすい，などをあげている。なかでも，藻場の役割として，餌生物の補給の重要性がいわれている。

このように，藻場は水産上，重要な役割をになっているが，藻場の消長，藻場を構成している植物の生態など明らかになっていないことが多い。又，藻場の役割が前述のようにあげられているが，このなかで，餌生物の補給の重要性がいわれているので，これについて，記述した報告はかなりみられる[3)~5)]。しかし餌生物の動物群量の消長に関連すると思われる付着植物の種類，その量的変動については報告が少ない[4)]。そこで，広島県東部，三原水道の細ノ州で，1976年５月から1977年11月まで，月１回藻場調査をし，顕花植物のアマモ及び海藻のアカモクの量の時期的変動を調べ，それぞれの葉上付着植物の数及び種類組成とその時期的変動を調べた。付着植物と比較するため，葉上付着動物の変動も湿重量で調べた。

方　　　　法

アマモやアカモク及び葉上付着動植物を調査，観察した場所は，広島県東部の三原水道のほぼ中央に存在する細ノ州水域である（Fig. 1）。干潮時に細ノ州が干上ったときに，現場へ行き，アマモの生育状況を調べた。その方法は，50×50cmの方形枠を用いて，この中にはいる植物体を数えることによって調べた。次いで，葉の生長，根の生長を観察した。それから，アマモ及びアカモクを実験室に持ち帰り，アマモの全長，



Fig. 1. Location of sampling areas.

重量，葉巾，葉の枚数及び節の数を測定し，アカモクについては重量のみ測定した。その後，アマモ及びアカモクに付着する動植物の種組成，数を調べるため，植物体を1％ホルマリン海水に1晩浸漬した。次の日，植物体をゆすいで，よく洗ってとりのぞき，残った1％ホルマリン海水を0.5mmのフルイでこし分けた。0.5mm以上の生物と0.5mm以下の生物とに分離し，0.5mmのフルイに残った動物を付着動物とし，フルイをとおったろ液の中に存在する植物を付着植物とした。

結　　　　　果

アマモとアカモタについて，植物体の全長，重量及び生育密度を観察した。結果を Fig. 2～5 にあらわした。アマモ植物体の全長は，一番長い葉の先端から地上茎に一番近いヒゲ根を出している節までとし

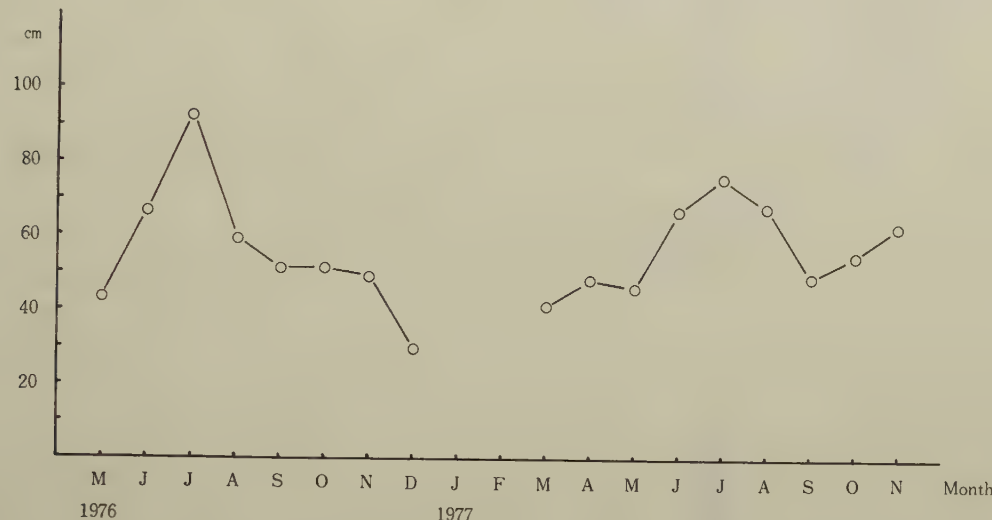


Fig. 2. Length of one *Zostera marina* plant (average of 10 to 20 samples).

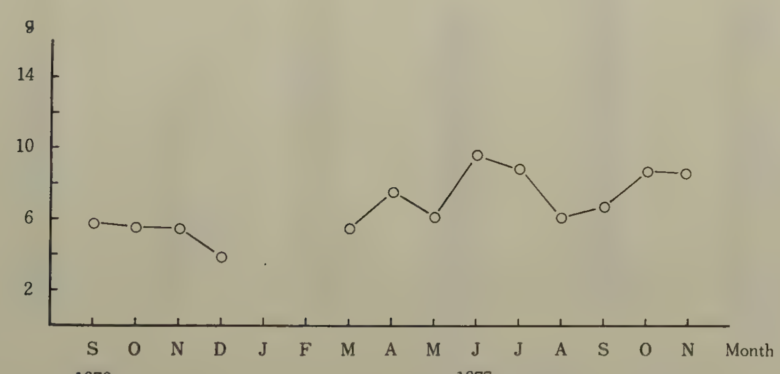


Fig. 3. Wet weight of one *Zostera marina* prant (average of 10 to 20 samples).

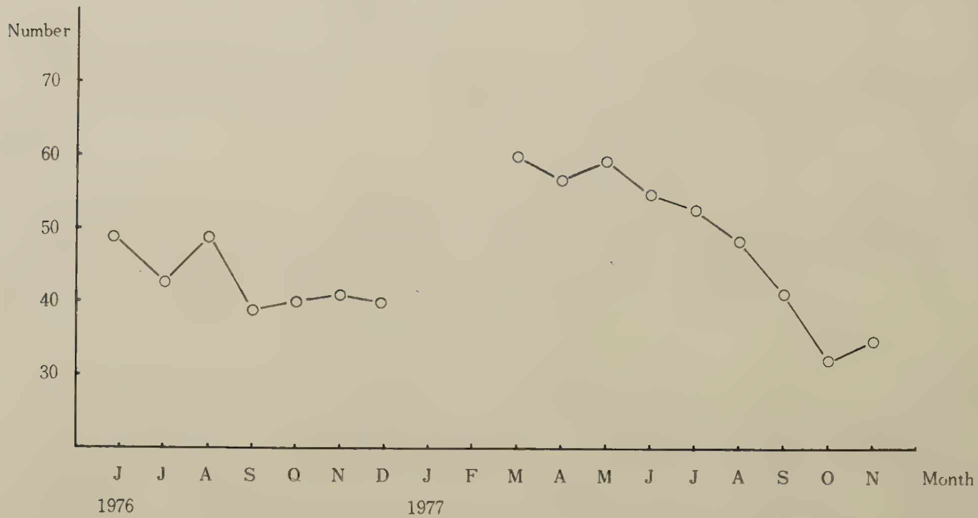


Fig. 4. The number of one *Zostera marina* plant in one quadrat of 2,500cm² (average of 5 to 10 samples).

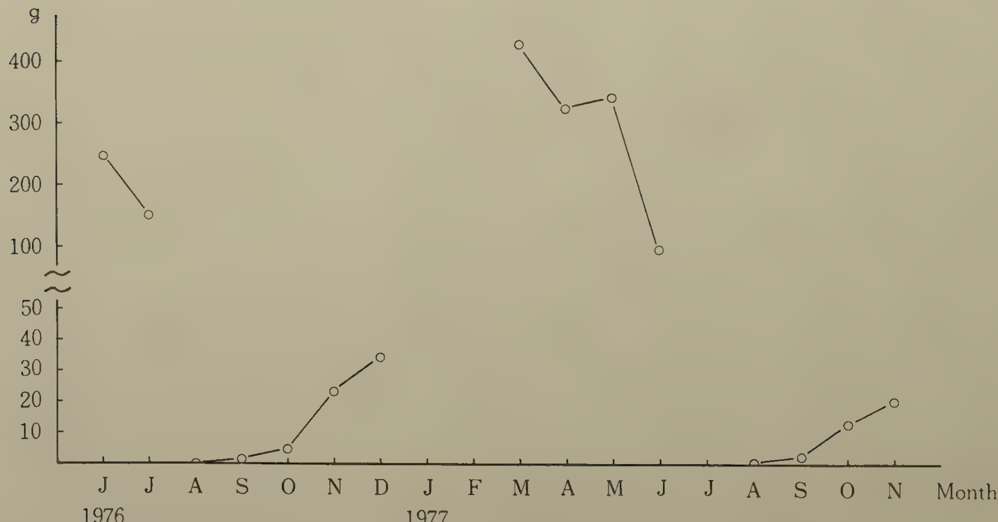


Fig. 5. Wet weight of one *Sargassum horneri* plant (average of 5 to 12 samples).

た[6]。また全長及び重量については，10～20個体の平均値で，生育密度については，5～10回測定の平均値で示した。アカモクの重量は5～12個体の平均値であらわした。

アマモ植物体の全長の時期的変動をみると（Fig. 2），5月から植物体は長くなり，1976年，1977年のいずれの年も7月に最大となっている。そして，8月になると，植物体は短かくなっていき，以後，この状態が翌年の春までつづく。

アマモ植物体の重量の時期的変動を湿重量でみると（Fig. 3），1976年の結果では，9月以降，大きな変化はなく，1977年の結果でも，3月から11月まで大きな変化がみられていない。全長の時期的変動の結果（Fig. 2）を考えると，重量は6月，7月に多少増加しても，その時期的変動は少ないと推定される。

アマモ植物体の生育状態を50×50cmの方形枠を用いて，そのなかにみられた植物体の数でみると（Fig. 4），1976年では，6月，7月，8月と植物体の数が多く，9月以降は減少している。1977年では，3月から8月にかけて植物体の数が多く，9月以降は減少している。つまり春から夏に植物体の数が多く，秋から冬にかけて少ないという傾向が観察された。

アカモクについては，重量のみを観察した。

アカモクは，1976年では，6月，7月に1植物あたり100～300gの大きな個体がみられたが，8月になると大きな個体は消失し，新しい数gの幼体が観察された。1977年の結果も1976年と大体同じであった（Fig. 5）。

次に付着植物について述べるが，その結果を Fig. 6～11，Table 1～4 に示した。

珪藻を主とした付着植物の数は，植物体100gあたり，10^4～10^6 細胞みられた（Fig. 6, 7, Table 1, 2）。付着植物の数の時期的変動をみると，アマモについては，1976年の調査で，大きな変化はみられなかったが

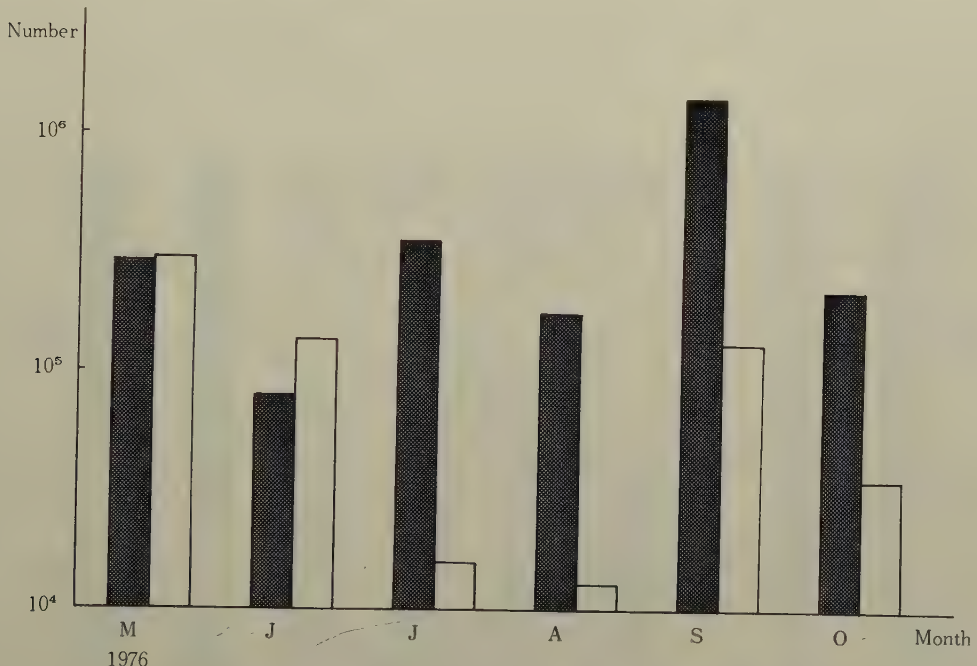


Fig. 6. The number of diatoms attached on *Zostera marina* and *Sargassum horneri* (per 100g). ■ *Zostera marina* □ *Sargassum honeri*

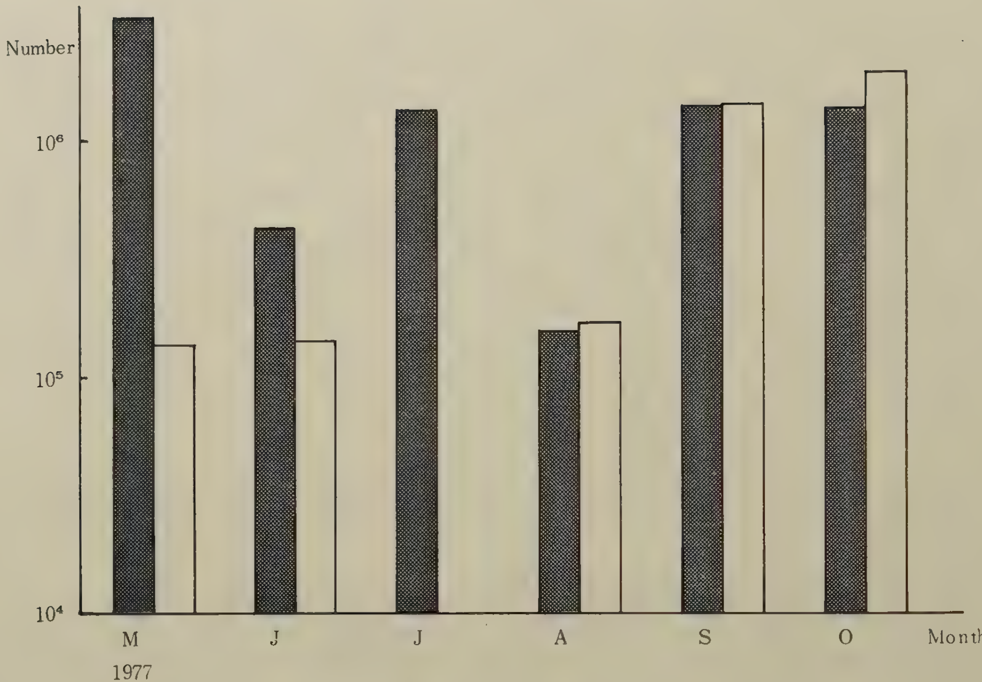


Fig. 7. The number of diatoms attached on *Zostera marina* and *Sargassum horneri* (per 100g). ■ *Zostera marina* □ *Sargassum horneri*

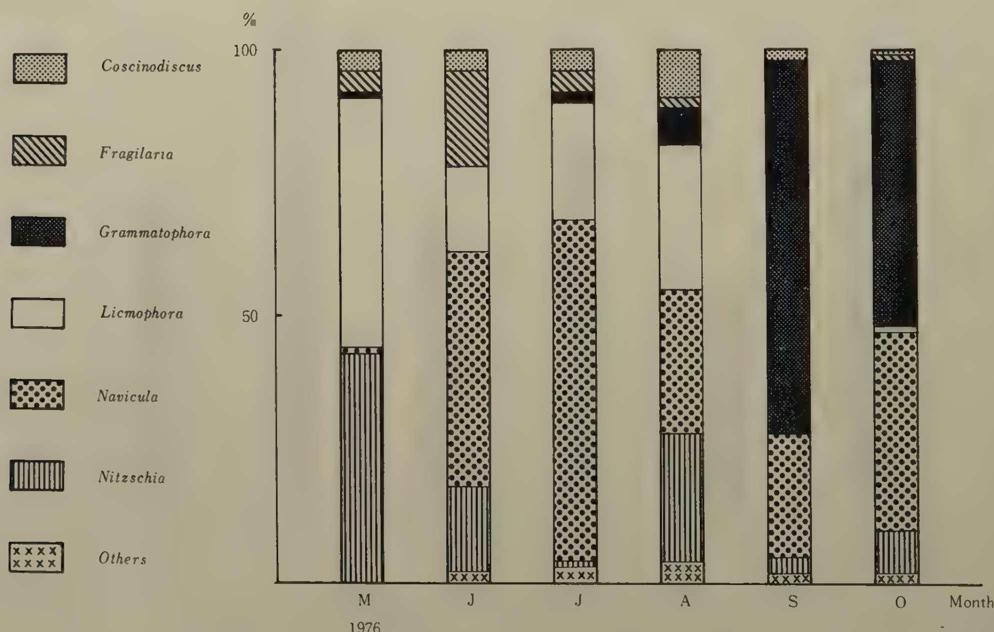


Fig. 8. A diatomaceous flora on *Zostera marina* (%).

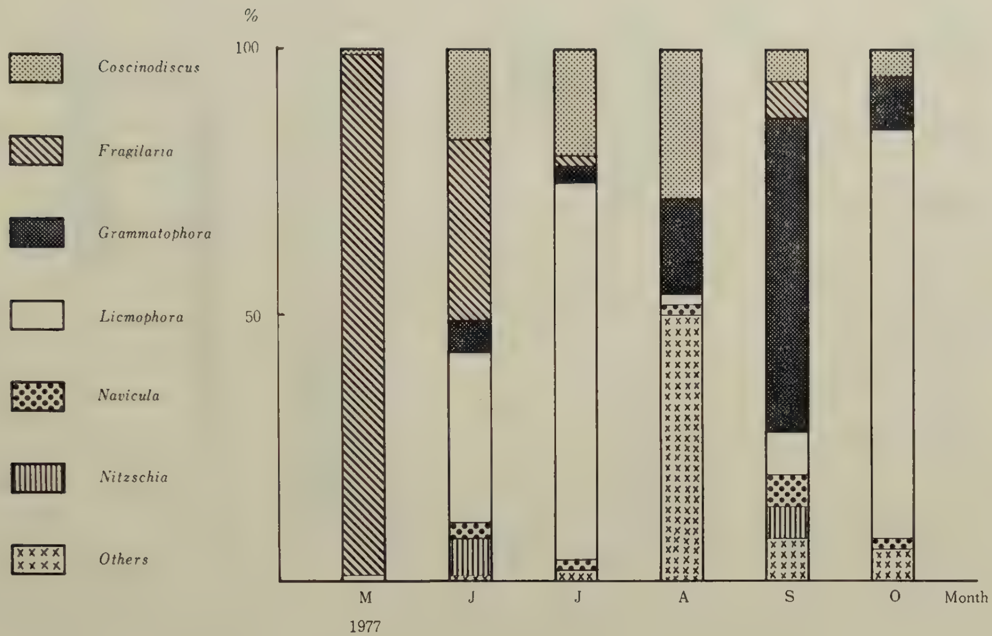


Fig. 9. A diatomaceous flora on *Zostera marina* (%).

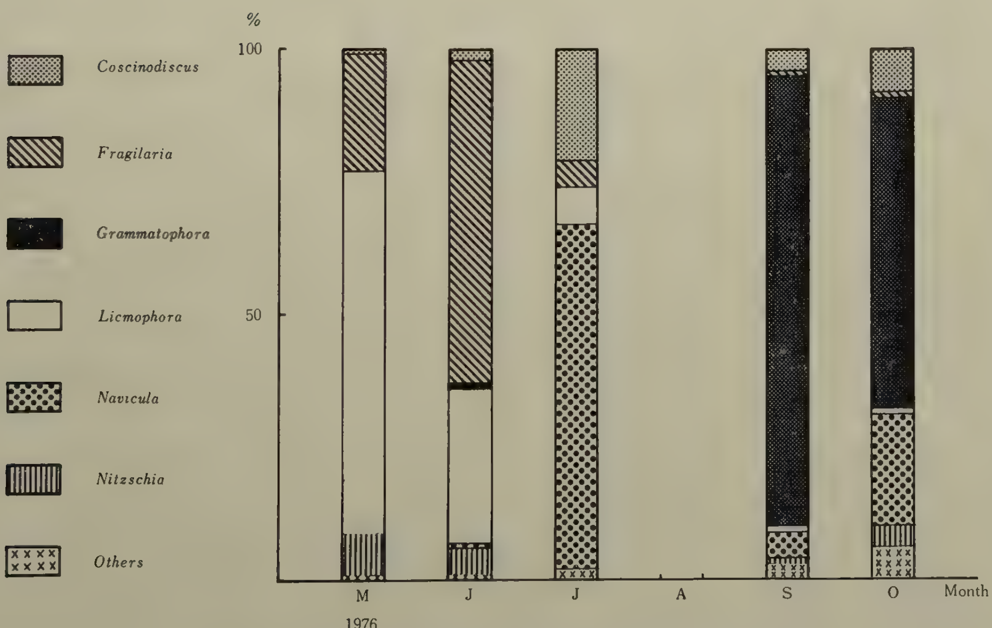


Fig. 10. A diatomaceous flora on *Sargassum horneri* (%).

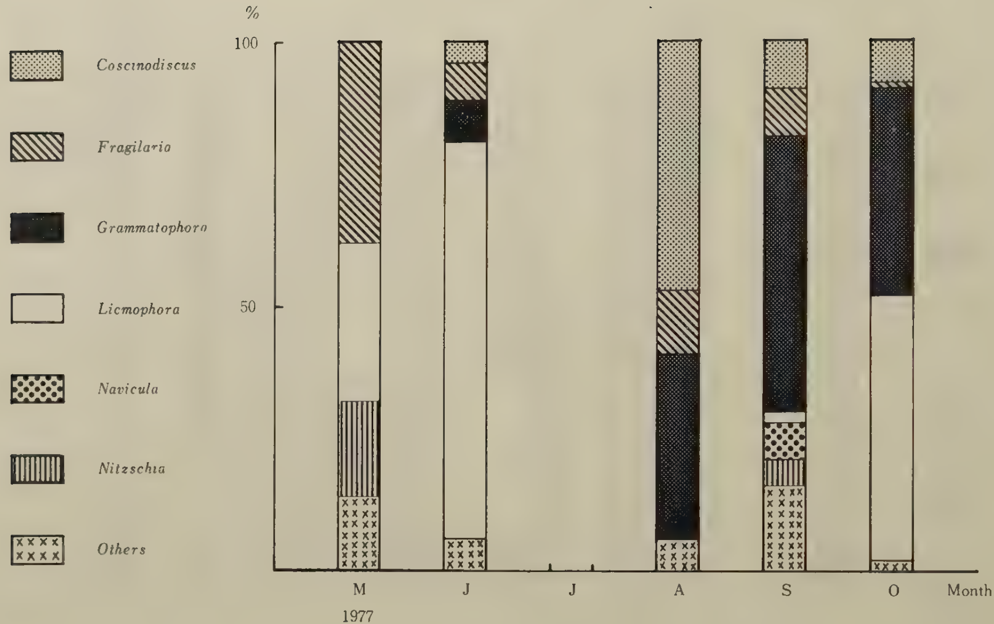


Fig. 11. A diatomaceous flora on *Sargassum horneri* (%).

1977年では，８月に減少がみられた。しかし，いずれの年も時期的変動の傾向は明らかでなかった。アカモクについては，1976年の調査で，７月，８月に大きな減少がみられた。1977年の調査でも，５月，６月，８月には減少している。

珪藻を主とした付着植物の組成をみると，アマモ葉上では（Fig. 8, 9, Table 3），1976年の調査で，*Navicula* 及び *Nitzschia* が毎回付着植物の組成に占める割合が高かった。又，５月，６月，７月，８月

Table 1. The number of diatoms attached on *Zostera marina* (per 100g).

	May	June	July	August	September	October
1976	4.6×10^5	9.0×10^4	5.5×10^5	2.5×10^5	1.6×10^6	3.5×10^5
1977	5.2×10^6	6.3×10^5	1.2×10^6	1.9×10^5	1.3×10^6	1.2×10^6

Table 2. The number of diatoms attached on *Sargassum horneri* (per 100g).

	May	June	July	August	September	October
1976	4.8×10^5	1.3×10^5	2.0×10^4	1.1×10^4	1.2×10^5	5.5×10^4
1977	1.4×10^5	1.5×10^5		2.2×10^5	1.4×10^6	2.7×10^6

Table 3. A diatomaceous flora on *Zostera marina* (%).

In 1976

	May	June	July	August	September	October
Coscinodiscus	4	4	4	9	2	1
Fragilaria	4	18	4	2	0	1
Grammatophora	1	0	2	7	70	50
Licmophora	47	16	22	27	0	1
Navicula	1	44	64	27	23	37
Nitzschia	43	16	1	24	3	8
Others	0	2	3	4	2	2

In 1977

	May	June	July	August	September	October
Coscinodiscus	1	17	20	28	6	5
Fragilaria	98	34	2	0	7	0
Grammatophora	0	6	3	18	59	10
Licmophora	1	32	71	2	8	77
Navicula	0	3	2	2	6	2
Nitzschia	0	7	0	0	6	0
Others	0	1	2	50	8	6

Table 4. A diatomaceous flora on *Sargassum horneri* (%).

In 1976

	May	June	July	August	September	October
Coscinodiscus	1	2	21		4	8
Fragilaria	22	61	5		1	1
Grammatophora	0	1	0		85	59
Licmophora	68	29	7		1	1
Navicula	0	1	65		5	21
Nitzschia	8	5	0		1	4
Others	1	1	2		3	6

In 1977 Table 4. Continued

	May	June	July	August	September	October
Coscinodiscus	0	4		47	9	8
Fragilaria	38	7		12	9	1
Grammatophora	0	8		35	52	39
Licmophora	30	75		0	2	50
Navicula	0	0		0	7	0
Nitzschia	18	0		0	5	0
Others	14	6		6	16	2

に *Licmophora* の占める割合が高く，9月，10月には *Grammatophora* の占める割合が高くなっている。1977年の調査では，5月，6月に *Fragilaria* の占める割合が高く，又6月，7月及び10月には *Licmophaora* の占める割合が高い。8月，9月には *Grammatophora* の占める割合が高かった。特異的であるが，8月には *Climacosphenia* の占める割合も高かった。

アカモク葉上では (Fig. 10, 11, Table 4)，1976年では，5月，6月に *Fragilaria* と *Licmophora* の占める割合が高く，9月，10月に *Grammatophora* の占める割合が高かった。1977年では，5月，6月に

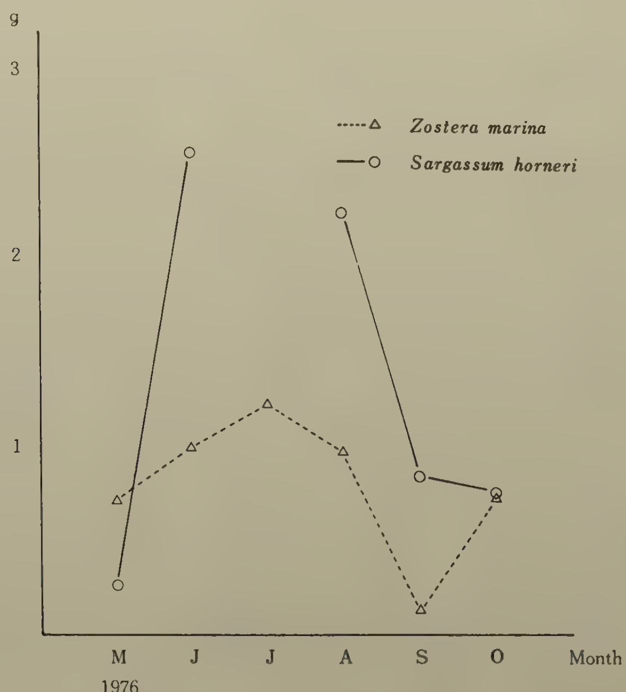


Fig. 12. Wet weight of zooplankton found on the thalli of *Zostera marina* and *Sargassum horneri* (per 100g).

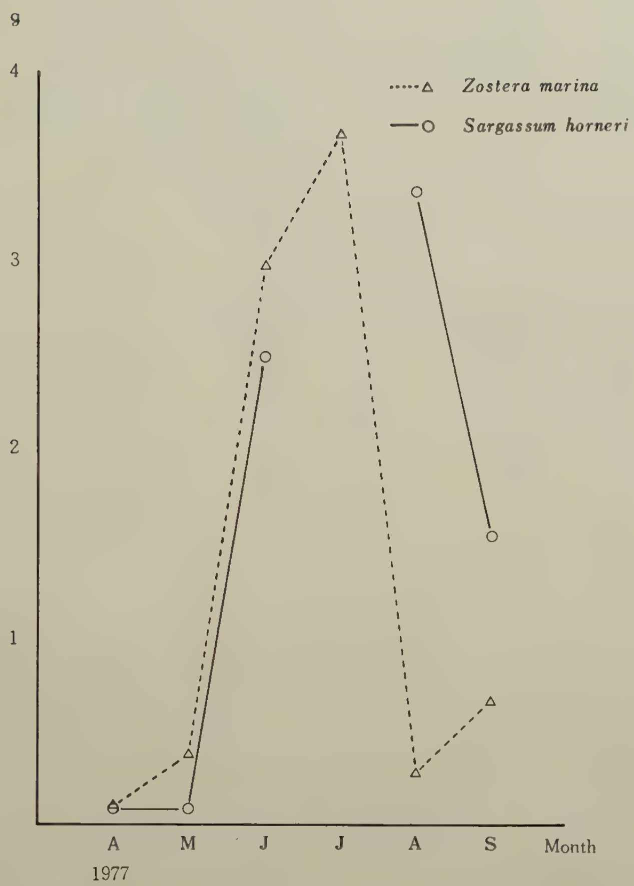


Fig. 13. Wet weight of zooplankton found on the thalli of *Zostera marina* and *Sargassum horneri* (per 100g).

Licmophora の占める割合が高く，9月，10月に *Grammatophora* の占める割合が高かった。

次に植物体上にみられた付着動物の量について述べるが，その結果を Fig. 12, 13, Table 5, 6 に示した。

0.5mmのフルイで残った全ての動物の総量を湿重量であらわし，その時期的変動を植物体100 g あたりの数値でみると（Fig. 12, 13, Table 5, 6)，1976年では，アマモ葉体上の付着動物もアカモク葉体上の付着動物もいずれも，6月，7月，8月に湿重量が大きくなっている。そしてアカモク葉体上の付着動物の方が，アマモ葉体上のものより非常に多いことが明らかであった。1977年では，いずれの葉体上の付着動物も，6月，7月，8月に湿重量が非常に大きくなっている。しかし，1976年にみられたような，アマモとアカモクの差は，はっきりしなかった。

Table 5. Wet weight of zooplankton found on *Zostera marina* (g per 100g).

	April	May	June	July	August	Septemer	October
1976		1.0	1.1	1.69	0.15	0.2	0.82
1977	0.11	0.39	2.98	3.69	0.28	0.65	

Table 6. Wet weight of zooplankton found on *Sargassum horneri* (g per 100g).

	April	May	June	July	August	Septemer	October
1976		0.27	2.55		2.2	0.85	0.75
1977	0.09	0.09	2.49		3.36	1.54	

考　　察

細ノ州におけるアマモは５月から長くなり，６月とつづき７月に最大となる。菊池[5]は九州の天草でのアマモを調査した結果では２月から大きくなり，全長は６月に最大になり，重量は観察場所によって異なるが５月，６月に最大になると報告している。新崎[7]は愛知県，伊川津湾内でアマモの生態を研究し，４～５月に結実すると，６月後は主径の伸長が止まると報告し，６月が植物体の全盛期と読みとれる。Setchell[8]は水温によって，植物体の生長期，植物体の成熟期，植物体の静止期などに分けている。そして10～15°Cの期間は植物体の生長期とし，15～20°Cの期間を成熟期としているので，植物体の最大生長期は新崎の観察と大体同じと考えられる。従って細ノ州のアマモは，これまでの他の結果と同様，春から夏にかけて生長するが，７月に植物体の全長が最大に達していることから，多少，生長期間が長いと推定される。

Setchell の温度と植物体の消長との関係を細ノ州のアマモにあてはめてみる。細ノ州に近い尾道水道の岸本桟橋の水温は Table 7 のとおりである。細ノ州のアマモ植物体の生長は５月，６月，７月で大きく，しかもこの期間に成熟し，種子がみられるので，この期間は生長と成熟が同時に起きていると考えられる。７月の平均水温は Table 7 から，51年度は25°Cであり52年度は24°Cになっているので，細ノ州の場合は25°Cでもまだ旺盛な生長が行なわれているといえる。この結果は Setchell の観察と異なる。しかし，アマモの生長は春から夏にかけて生長する点は他の諸結果とも一致するのでアマモの生長に対する一次要因として，温度は重要と考えられる。

Table 7. Water temperature of Onomichi Suido.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1976	10	9	10	12	16	20	25	26	25	21	17	13
1977	9	8	9	12	16	20	24	26	26	23	19	15

アマモ植物体の生育状態をみると，51年度では，６月，７月，８月は植物体数が多く，６月では方形枠50×50cmあたり平均48.8本，７月では42.3本，８月では48.7本であった。52年度では，３月から８月にかけ

て多く，3月に59.6本，4月に56.4本，5月に59本，6月に54.2本，7月に52.3本，8月48本であった。この結果を石川県増殖試験場及び石川県栽培漁業センターの51年度の事業報告[9]と比較すると，生育密度は大体一致する。ただし，石川県では，8～9月の調査結果のみでしかも時期的な変動をみていないので，厳密なことはいえないが，細ノ州ではアマモの生育密度は年間に，50×50cmあたり30本から60本の範囲で変動しているのが普通と考えられる。

アカモクの植物体量の年間変動は，一年生藻類の年間消長の典型をあらわしている。アカモクはここでは8月頃に新しい植物体が発芽し，秋から冬にかけて生長して，次の年の7月頃には枯れて消失することがわかった。

アマモ葉上にみられた珪藻を主とした付着植物は，5月から10月にかけて植物体100gあたり10^4～10^6細胞みられたが，その数の大きな時期的変動はみられなかった。その種類組成をみると，1976年の調査では *Nitzschia* が毎回の調査で出現し，組成に占める割合が大きかったが，1977年の調査では *Climacosphenia* が非常に多く出現している。この両年の相違の原因は明らかでない。また1976年の調査，1977年の調査いずれも，春から夏にかけて *Licmophora* が多く，秋には *Grammatophora* が多くなっている。

アカモク葉上にみられた付着植物の数も，植物体100gあたり10^4～10^6細胞みられたが，1976年の調査でも1977年の調査でも，夏にその数が減少している。この原因は，この時期の栄養塩に規制されることも考えられるが，後述するように，この時期に付着動物が非常に増加するので，付着動物に捕食されたと考えられる。しかしこれを実証するデーターはないので明らかでない。アカモク葉体上の付着植物組成をみると，1976年の調査，1977年の調査，いずれも，アマモ葉上の付着植物組成よりもはっきりと，春から夏にかけて，*Licmophora* が優勢となり，秋には *Grammatophora* が優勢になっている。アマモ葉上でもアカモク葉上でも，春は *Licmophora* の優勢な種組成となり，秋には *Grammatophora* の優勢な種組成となることは明らかとなったが，この事実は，海水中のプランクトン組成にもみられるか否かは明らかでない。珪藻を主とした付着植物の量的変動を調べるためには，海水中の植物プランクトン組成の量的変動もみる必要がある。

アマモ及びアカモク葉上の付着動物の総量は6月，7月，8月に多くなっている。これは第一には，この時期の付着植物が減っていることから，食物連鎖の関係で付着動物が増加したと考えられる。第二には，アマモの場合は古い葉が枯れていく時期であり，アカモクの場合は，植物体の生長が終って枯れていく時期なので，これらの枯れていく葉体を直接食べるか，バクテリアによって分解された葉を食べることによって増加したとも考えられる。

布施[4]はノコギリモク葉上にみられた葉上動物量を測定して，625cm²あたりの数値を出している。著者らの結果と比較するため，これを葉体100gあたりの数値になおすと，調査点102Nでは8月が0.24gで最小となり，1月が39.5gで最大となっている。調査点102Sでは7月が1.23gで最小となり，1月が51.48gで最大となっており，又調査点32Eでは10月が0.8gで最小となっており，12月が26.24gで最大となっている。著者らの結果と逆になっているのは調査方法及び調査場所の相違，又は調査した藻類の相違などが推定される。北森・永田・小林[8]は底層用ネットで採泥して，底棲動物を採集して，春から秋にかけて量が豊富になると報告している。そして，この時期に棲息魚類が増大することから，藻場の一つの役割として，餌生物の補給は大きいとしている。葉上動物と底棲動物の相違はあるが，どちらも主体は小型甲殻類なので，比較すると，北森らの結果は著者らの結果と一致する。

以上のように，付着動物の変動が研究者によって異なるのは調査場所や方法の相違によることを示しているのか否かは明らかでない。

珪藻を主とした付着植物は，アマモ葉上でもアカモク葉上でもその数には大きな変化はみられなかった。しかし，付着動物は6月，7月，8月と非常に増えている。しかも，この時期はアマモは植物個体数が増えて，生育密度が増し，アカモクは枯れて消失していく時期にあたる。従って，付着動物はアカモク自体を餌

料にして個体量が増加したと考えられる。このことからアカモクと餌生物となる付着動物との関連が強いことが推定される。

摘　要

広島県東部の三原沖の細ノ州で1976年5月から1977年11月までアマモ及びアカモクの年間消長を調査し，同時に葉上動植物量の時期的変動を調べて，以下の結果を得た。

1）アマモの全長は7月に最大となる。

2）アマモの重量は大きく変動していない。

3）アマモの生育密度は春から夏にかけて大きく，秋から冬にかけて小さい。

4）アカモクは7月に枯れて消失し，8月になると新しい個体が現われた。

5）植物体上の珪藻を主とした付着植物の数は，植物体100 g あたり，10^4～10^6 細胞であった。アマモ葉上とアカモク葉上とでは，その数に大きな差はみられなかった。

6）付着植物の組成は，アマモ葉上でもアカモク葉上でも春から夏に *Licomophora* が多く，夏から秋に *Grammatophora* が多い。

7）優占する珪藻は，時期によって異なる。

8）植物体上の付着動物の数は，6月，7月，8月に非常に増えた。

9）餌生物となる付着動物とアカモクとの関連が強いと推定された。

文　献

1）新崎盛敏，1950：アマモ，コアマモの生態(1)，日水誌，**15**(10)，567—572.

2）布施慎一郎，1962：アマモ場における動物群集，生理生態，**11**(1)，1—22.

3）北森良之介・永田樹三・小林真一，1959：藻場の生態学的研究Ⅱ，季節的変化，内海水研報告，(12)，187—199.

4）布施慎一郎，1962：ガラモ場における動物群集，生理生態，**11**(1)，23—45.

5）菊池泰二，1973：海洋生態学，第1版，v+213pp. 東京大学出版会。

6）月舘潤一・高森茂樹，1977：アマモの生長様式について，本誌，(10)，123—130.

7）新崎盛敏，1950：アマモ，コアマモの生態(Ⅱ)，日水誌，**16**(2)，70—76.

8）Setchell, W. A., 1929 : Notes on *Zostera marina* L., University of California Publications in Botany **14**(19), 389—452.

9）田島迪生・永田房雄，1978：アマモ調査—1，石川県増殖試験場・石川県栽培漁業センター51年度事業報告書，38—44.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 47~55 (1978)

水中衝撃圧の魚類に及ぼす損傷機構に関する研究—I.

魚体腹腔内における衝撃波の特性

梅 沢　　敏・阪 口 清 次・福 原　　修
藤 谷　　超*・小 川 輝 繁**

Studies on the Damage Formation Mechanisms of Submerge Explosion on Fish-I.

Characteristics of Pressure Wave in Body Cavity of Fish

Satoshi UMEZAWA, Seiji SAKAGUCHI, Osamu FUKUHARA,
Masaru FUJIYA and Terushige OGAWA

It was shown in a previous paper (SAKAGUCHI et al. 1976) that the harmful effects of underwater explosions to several fishes was correlated to energy flux density of underwater pressure waves, even if the pressure wave form of the explosion was different.

In the present paper, some experiments were carried out to investigate the dynamic responses of underwater explosion in the abdominal cavities of the marine fishes, *Seriola quinqueradiata*, yellowtail, red sea bream, *Chrysophrys major*, rock fish, *Sebasticus marmoratus*, greenlings, *Hexagrammos otakii*, sea eel, *Astroconger myriaster* and file fish, *Navodon modestus*. Electric detonator and concrete crackers (CCR) were used as explosion sources. The following results were obtained:

1) Electric detonator and CCR show quite different forms of underwater pressure wave, but are a similar form in the abdominal cavity, and those on both lobes of the liver and kidney also show a similar trend.
2) The peak pressure of pressure wave in the abdominal cavity decreased to about 10% of the underwater pressure wave for the electric detonator, and about 50% for CCR.
3) Different forms of the underwater pressure waves were observed for electric detonator and CCR, however, the peak pressure in the abdominal cavity is correlated to energy flux density in the underwater pressure wave.
4) The reduction in the peak pressure of the underwater pressure wave found in the abdominal cavity did not differ greatly between the species of fishes examined.

1978年10月11日受理，南西海区水産研究所業績　第81号
＊淡水区水産研究所
＊＊横浜国立大学

阪口ら[1]は，水中圧力波が魚類の内部器官に及ぼす影響を検討した。その結果，水中圧力波の波形特性と魚体損傷影響との関係は，同じ圧力最高値でも波長の長い圧力波のほうが魚類に対してより大きな損傷を与えること，および波形が著しく異なる圧力波であっても水中圧力波のエネルギー密度と魚体の損傷程度との間に正の相関がみられることとを明らかにした。

本報では，上記事項をさらに検討するために，魚類の腹腔内に圧力計を埋め込み，水中圧力波に対する魚体内の力学的応答と，内部器官の損傷機構について考察した。

稿を草するにあたり，水中発破問題検討委員会委員長として終始御指導いただいた南西海区水産研究所長，花村宣彦博士ならびに実験に際して水中圧力波の測定解析について御指導いただいた横浜国立大学教授，福山郁生博士に心から感謝の意を表する。

また，本実験は水産資源保護協会の水中発破問題検討委員会と連携して行なわれたものであり，試験実施のうえで有益な助言と協力をいただいた庄野五一郎会長ならびに吉田修二郎参事に深謝する。

材 料 お よ び 方 法

実験には，ハマチ，マダイ，アイナメ，カサゴ，ウマズラハギおよびアナゴの６種の形態の異なる海産魚を供試した。供試魚は生きたものを取り上げ，直ちに凍結し，実験直前に解凍した。実験は1977年８月６日から10日まで，東京大学工学部安全工学科実験場内の実験水槽（５×３×3.5m）を使用して実施した。

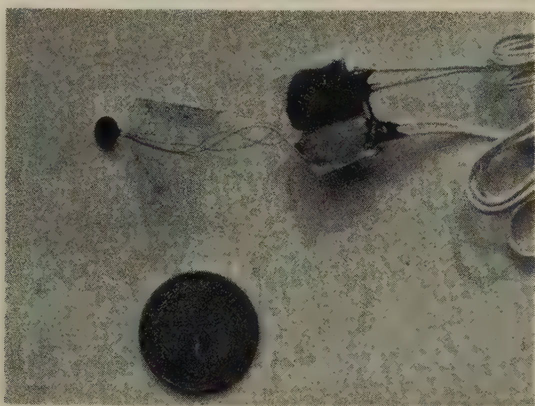


Fig. 1. The pressure guage used in this experiment.

腹腔内の圧力測定には歪ゲージ型圧力計（Fig. 1 共和電業社製PS—10型）を用いた。圧力計の大きさは，直径６mm，厚さ0.6mmである。圧力計の魚体内装塡部位は，ハマチでは肝臓の左右両葉の表面および腎臓部表面で，ハマチ以外の魚種は肝臓左葉表面である。装塡方法は，それぞれの部位に接着剤で接着させ，リード線を筋肉内に埋め込んで縫合し，さらに接着剤で密着した（Fig. 2）。

実験魚はガーゼで軽く包み，真珠養殖用段籠を改良した保持籠に入れて水中に吊り下げた。受圧方向は左腹側部とした。

爆源としては，６号電気雷管とコンクリート破砕器（旭化成社製 CCR２号 薬量30ｇ 以下CCRと略す）を用いた。ハマチについては両爆源を用いて，異なる水中圧力波に対する腹腔内の力学的応答および腹腔内の位置によるその違いについて，その他の魚種については電気雷管を使用して，腹腔内の力学的応答の魚種間の差異について観察した。

魚体外の水中圧力波の測定にはトルマリンゲージを用いた。測定系統は阪口ら[1]と同様である。腹腔内圧

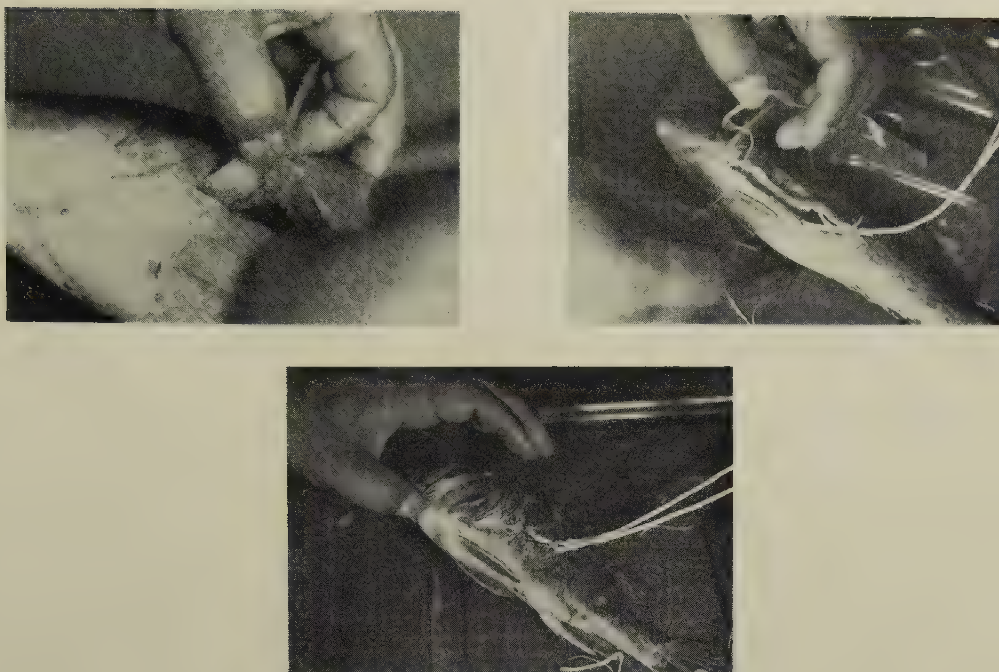


Fig. 2. Operational procedure to insert the pressure guage to abdominal inside of the examined fishes.

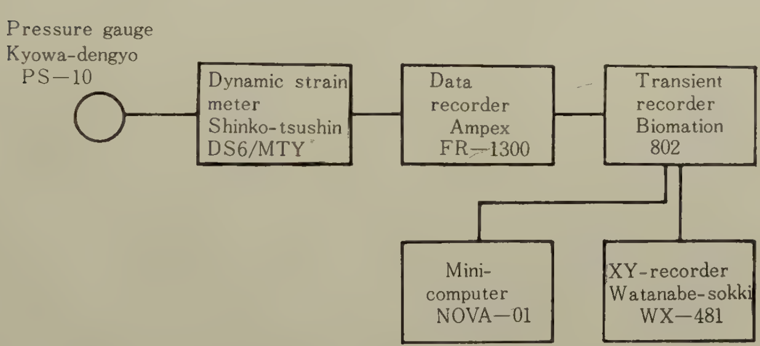


Fig. 3. Block diagram of pressure measurement system.

力波の測定系統は Fig. 3 に示したように，圧力計から動歪計（新興通信社製 DY6/MTY）を通してデーターレコーダー（Ampex 製 FR—1300）およびトランジェントレコーダー（Biomation 802）に記録させた。また，別にX—Yレコーダー（渡辺渡器 WX—481）を使って再生し，小型電子計算機（NOVA—01）を用いてデーター処理を行なった。

結　　果

1）腹腔内圧力波形について

電気雷管と CCR の水中圧力波形およびハマチ腹腔内における圧力波形の 1 例を Fig. 4 に示した。腹腔

内の腎臓と肝臓における圧力波形と魚体入射前の水中圧力波形は著しく異なっている。すなわち，電気雷管を用いた場合，水中圧力波の立上り時間は数 μs 以下，正圧部の持続時間（パルス幅）は約50μs であるが，腹腔内圧力波は腎臓部表面では波動の立上り時間約750μs，パルス幅 2 msとなっている。一方CCRでは水中圧力波の立ち上り時間は 20〜600μs，パルス幅は約 2 ms であるが，腎臓部表面の圧力波の立上り時間は約

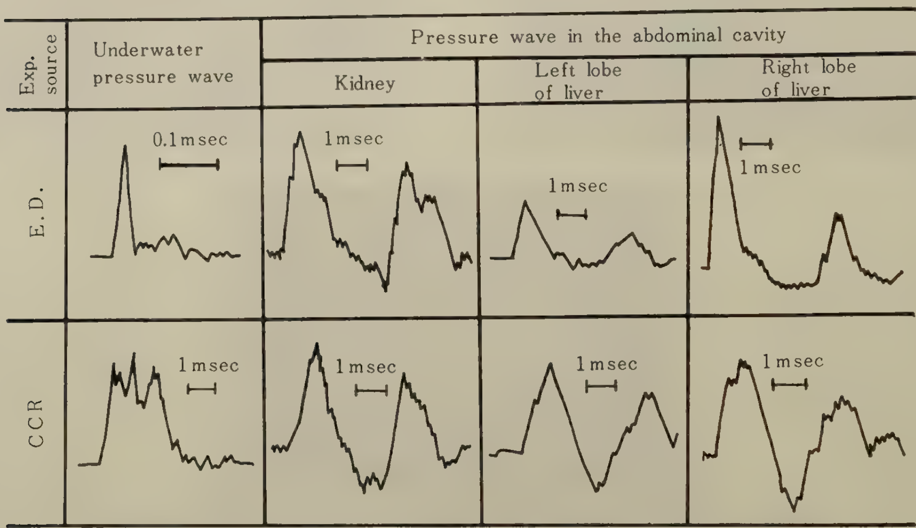


Fig. 4. Examples of wave form of underwater explosion both in the water and in abdominal cavity, the kidney and liver observed in the yellowtail.

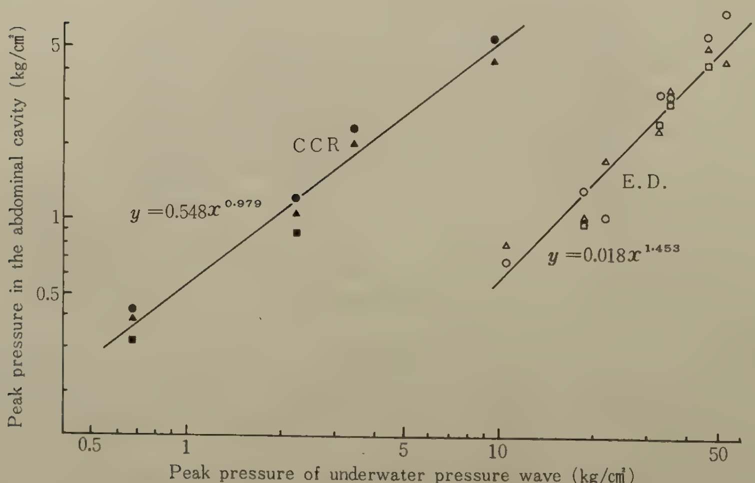


Fig. 5. Relationship between peak pressure of underwater pressure wave and that of pressure wave in the abdominal cavity of the yellowtail. The values shown as the open and closed circles are measured on the kidney; those of squares are on the left lobe of liver and triangles for the right. CCR, concrete cracker; E.D., electric detonator.

Table 1. The records of measurement of underwater pressure wave and those in the abdominal cavity. P, peak pressure(kg/cm²); I, impulse(g/cm·S); Ef, energy flux density(J/m²); Numbers in parentheses show percentage of peak pressure in the abdominal cavity to that of underwater pressure wave.

Exp. source	Underwater pressure wave			Pressure wave in the abdominal cavity								
				Kidney			Left lobe of the liver			Right lobe of the liver		
	P′	I′	Ef′	P	I	Ef	P	I	Ef	P	I	Ef
E.D.	10.4	380	11.2	0.69 (6.6)	606	1.82	0.83 (8.0)	593	2.09	—	—	—
	18.9	605	45.2	1.34 (7.1)	1,420	8.88	1.05 (5.6)	1,262	6.17	1.04 (5.5)	1,330	7.04
	21.8	795	42.5	1.03 (4.7)	1,000	4.63	1.84 (8.4)	1,400	10.3	—	—	—
	32.4	912	131	3.14 (9.7)	2,540	35.9	2.35 (7.3)	2,500	28.0	2.40 (7.4)	2,560	29.3
	35.0	1,130	141	3.24 (9.3)	3,180	41.9	3.46 (9.9)	2,160	33.0	3.80 (8.8)	1,920	26.1
	46.3	1,300	183	5.62 (12.1)	3,840	101	5.07 (11.0)	5,820	130	4.32 (9.3)	3,880	76.4
	53.8	2,340	287	6.87 (12.8)	4,000	128	4.35 (8.1)	3,310	76.4	—	—	—
CCR	0.68	768	2.23	0.42 (62.4)	564	1.19	0.93 (58.5)	620	1.21	0.31 (46.0)	460	0.72
	2.24	1,100	5.31	1.32 (58.9)	1,130	6.83	1.08 (48.2)	1,210	6.01	0.87 (39.6)	997	4.45
	3.50	1,910	14.0	2.45 (70.0)	2,210	24.7	2.00 (57.7)	2,780	29.5	—	—	—
	9.62	6,190	112	5.50 (57.2)	5,200	130	4.45 (47.3)	6,200	140	—	—	—

700μs，パルス幅は約2.6msとなっている。

このように電気雷管と CCR による水中圧力波では，パルス幅に顕著な差が認められるが，ハマチの腹腔内の腎臓部表面における両者の圧力波形にはほとんど差がみられない。また，肝臓左右両葉表面における両者の圧力波形には多少の差がみられるものの，水中圧力波の違いに比べれば著しく小さい。

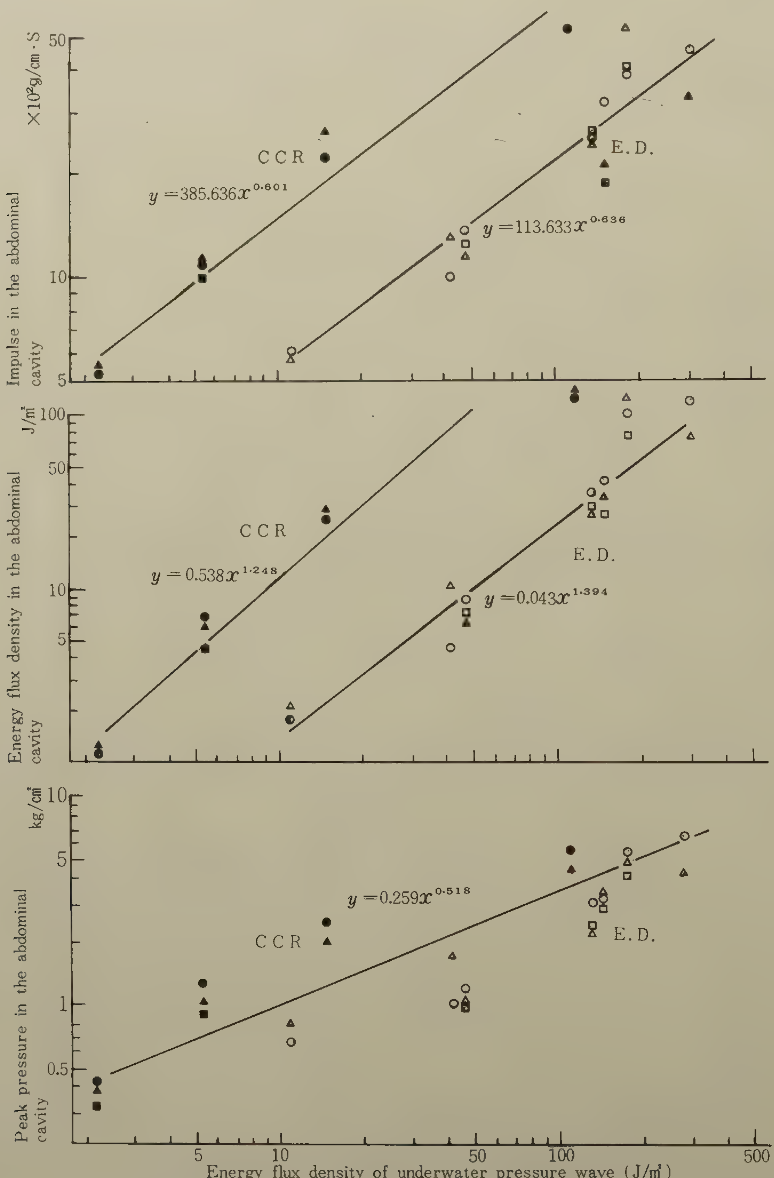


Fig. 6. Relationship between energy flux density of underwater pressure wave and peak pressure, impulse and energy flux density in the abdominal cavity of the yellowtail. Symbols in the figure are same as the Figure 5.

2）腹腔内圧力波の大きさについて

電気雷管および CCR の爆発による水中圧力波のピーク圧と，ハマチ腹腔内圧力波のピーク圧の関係を Fig. 5 に示した。爆源の種類が同一であれば，水中と魚体内のピーク圧の間には相関が認められる。両爆源の腹腔内における圧力波と，水中圧力波のピーク圧を比べると，電気雷管で95～90%，CCR で約50%が減衰している。すなわち，パルス幅の短い電気雷管ではピーク圧の減衰が大きいのに対して，パルス幅の長い CCR ではピーク圧の減衰は小さく，水中圧力波がかなり強い状態で腹腔内へ伝わることを示している。

Fig. 6 に水中圧力波のエネルギー密度と腹腔内圧力波の諸特性との関係を示した。水中圧力波のエネルギー密度と，腹腔内圧力波のインパルスおよびエネルギー密度の関係では，電気雷管と CCR では異なったものであるが，ピーク圧との関係では両者は同一直線式によって表わされる。このことから，水中圧力波の波形の異なる両爆発であっても腹腔内のピーク圧で比較すれば，魚の損傷状態を同じ基盤の上で論ずることができる。

3）各魚種における腹腔内圧力波について

ハマチのほか，マダイ，カサゴ，アイナメ，ウマズラハギおよびアナゴの肝臓左葉表面に圧力計を取りつ

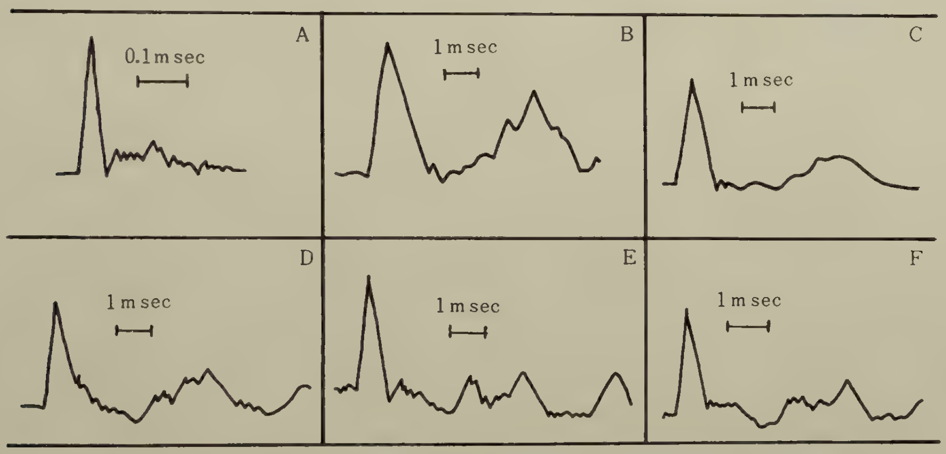


Fig. 7. Examples of wave form of underwater wave and pressure waves in the abdominal cavity, left lobe of liver in various fishes ; A, underwater ; B, *C. major* ; C, *S. marmoratus* ; D, *H. otakii* ; E, *N. modestus* ; F, *A. myriaster*.

Table 2. Rise time and pulse width of pressure wave in abdomonal cavity by electric detonator.

Species	Rise time (μs)	Pulse width (μs)	Species	Rise time (μs)	Pulse width (μs)
Red sea bream	450	1,370	File fish	290	630
Greenlings	420	1,340	Sea eel	400	790
Rock fish	480	870			

け，左腹側部から受圧させた場合に得られた圧力波形を Fig. 7 に，圧力波の立ち上がり時間とパルス幅を Table 2 にそれぞれ示した。

腹腔内の肝臓部における圧力波の立上り時間は，ウマヅラハギを除く各魚種では約400〜500μsの範囲である。また，パルス幅は魚種によってかなりの差があるが，これを形態的にみると体幅の厚い魚種ほど持続時間が長くなる傾向がみられた。

水中圧力波と腹腔内圧力波のそれぞれのピーク圧を Table 3 に示したが，その減衰率は87〜91%であり，魚種間の差はほとんどみられなかった。

Table 3. The records of measurement of peak pressure and energy flux density in the abdominal cavity and that of underwater pressure wave for various fishes.

Species	Underwater pressure wave		Pressure wave in the abdominal cavity (left lobe of liver)		
	P′	Ef′	P	(P/P′×100)	Ef
Red sea bream	39.8	149	3.93	(9.7)	62.0
	35.2	141	4.53	(12.9)	74.1
Greenlings	39.8	149	3.76	(9.4)	34.4
	35.2	141	4.20	(11.9)	45.0
Rock fish	39.8	149	4.56	(11.5)	45.5
	35.2	141	3.80	(10.8)	35.5
File fish	33.4	138	3.82	(9.9)	27.5
Sea eel	38.4	138	4.31	(11.2)	36.5
	38.3	140	3.76	(9.8)	28.3

考　　察

被爆による魚類の内部器官の損傷は，魚体に加わる水中圧力波のエネルギー密度と相関があることはすでに明らかにした。本実験では水中圧力波に対する生鮮魚の腹腔内での圧力を測定し検討した結果，腹腔内圧力波のピーク圧が水中圧力波のエネルギー密度とよく相関していることが判った。このことから，魚類の内部器官の損傷については，腹腔内圧力波のピーク圧が深く関与していると考えられる。

また，体形の異なる魚種での腹腔内圧力波のピーク圧には大きな違いがないことが明らかになった。しかし，実際の被爆による損傷には大きな差異がみられる。この点に関しては内部器官の位置関係，組織の粗密また受圧方向などによる損傷の受けかたの相違が関与しているものと推考される。

摘　　要

水中圧力波の魚類に及ぼす影響の機構を明らかにするため，魚体内に伝播する圧力波の様相を，電気雷管と CCR を爆源として数種の海産魚を用いて検討した。

得られた結果はつぎのとおりである。

1）電気雷管と CCR の水中圧力波形は大きく異なっているにもかかわらず，実験魚の腹腔内における圧力波形にはほとんど差がみられない。また，肝臓左右両葉，腎臓部の表面での位置による相違も小さい。

2）水中圧力波のピーク圧と，腹腔内圧力波のピーク圧の関係をみると，パルス幅の短い電気雷管でピーク圧の減衰は大きいが，パルス幅の長い CCR ではその減衰は小さく，水中圧力波が強い状態で腹腔内へ伝わる。

3）爆源が異なる電気雷管と CCR においても，腹腔内圧力波は両者とも類似した波形を示す。すでに明らかにしたように損傷状態は水中圧力波のピーク圧との関連で論ずることができる。このことは異なる工法の発破であっても，腹腔内圧力波のピーク圧をもってすれば水中圧力波の魚類への損傷影響を同一の基盤で論議できることを意味している。さらに，水中圧力波のエネルギー密度と腹腔内圧力波のピーク圧の関係を検討した結果，両者の間には相関が認められた。

4）マダイ，カサゴ，アイナメ，ウマズラハギ，アナゴにおいても，水中圧力波に対する腹腔内圧力波の減衰はほぼ同じで，魚種による差はほとんどみられなかった。

文　　献

1）阪口清次・福原修・梅沢敏・藤谷超・小川輝繁，1976：水中発破の水産生物に及ぼす影響．本誌(9)，33−65.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 57～64 (1978)

水中衝撃圧の魚類に及ぼす損傷機構に関する研究—Ⅱ.

模型魚の腹部器官の損傷に関与する要因の解析

福原　修・阪口清次・梅沢　敏
藤谷　超*・小川輝繁**

Studies on the Damage Formation Mechanisms of Submerge Explosion on Fish-II.

Analysis of the Components Regarding the Damage of Visceral Organs in Utilization of Dummy Fish

Osamu FUKUHARA, Seiji SAKAGUCHI, Satoshi UMEZAWA,
Masaru FUJIYA and Terushige OGAWA

This experiment was designed in order to ascertain the mechanisms of damage formation of underwater explosions on fish, with special reference to dynamic responses of the underwater explosion in the abdominal cavity of fish dummy made of plastic materials. Electric detonator and concrete cracker (CCR) were employed as explosive sources in the experiment. The results obtained may be summarized as follows;

1) Energy flux density of an underwater explosion was related to peak pressure in the abdominal cavity of the fish dummy, and there may be a relationship between damage to fish and peak pressure of the pressure wave observed in the abdominal cavity.
2) A relationship was found between the peak pressure of the pressure wave in the abdomen and the magnitude of principal strain, even if the explosive source was different. The magnitude of principal strain on the surface of the viscera was greater than that internally, and also was greater in the kidney than the liver. The fact that damage in the kidney is greater than other organs is probably attributable to these differences in magnitude of principal strain depend on the location of the organs in the abdominal cavity.
3) In conclusion, the damage to abdominal organs depends largely on the magnitude of principal strain.

前報[1)]では生鮮魚の腹腔内に小型の圧力計をとりつけて，異なる水中圧力波に対する腹腔内の部位および魚種のちがいによる圧力応答の特性について検討した。その結果，波形の異なる水中圧力波でも，被爆魚体

1978年10月11日受理，南西海区水産研究所業績　第82号
＊淡水区水産研究所
＊＊横浜国立大学

の腹腔内では圧力波形に差がみられないこと，また腹腔内の圧力波のピーク圧は水中圧力波のエネルギー密度と相関関係が認められることなどが明らかになり，内臓器官の損傷には水中圧力波のエネルギー密度と関連のある魚体腹腔内のピーク圧が深く関与していることが推察された。

本実験ではこれらの現象を更に実験的に検討するため，ハマチをモデルとして合成樹脂で作られた模型魚を用いて腹部内の圧力の変化および内部器官の歪特性を調べ，ピーク圧と関連する力学的応答を検討して魚の内部器官が水中衝撃波によって損傷を受ける機構について考察を行なった。

稿を草するにあたり，水中発破問題検討委員会委員長として終始御助力いただいた南西海区水産研究所長，花村宣彦博士ならびに発破実験にさいして水中衝撃波の測定解析について御指導いただいた横浜国立大学教授，福山郁生博士に心から感謝の意を表する。

本実験は水産資源保護協会の水中発破問題検討委員会と連携して行なわれたものであり，試験実施のうえで有益な助言と協力をいただいた庄野五一郎会長ならびに吉田修二郎参事に深謝する。

材 料 お よ び 方 法

実験に用いた模型魚は Fig. 1 に示すように紡錘形で骨格部，両体側の筋肉部および内臓部などの部分からなり，魚体と力学的性質ができるだけ類似した材質を用いて作られた。内臓は2部にわかれ，Aは腎臓部，Bは肝臓部を想定している。

実験の実施場所，爆源の種類および魚体外の水中圧力波など測定方法等は前報[1)]と同様である。

歪は，模型魚の内臓部に抵抗線歪ゲージを貼りつけて測定した。歪ゲージの貼りつけ位置は Fig. 1 に示

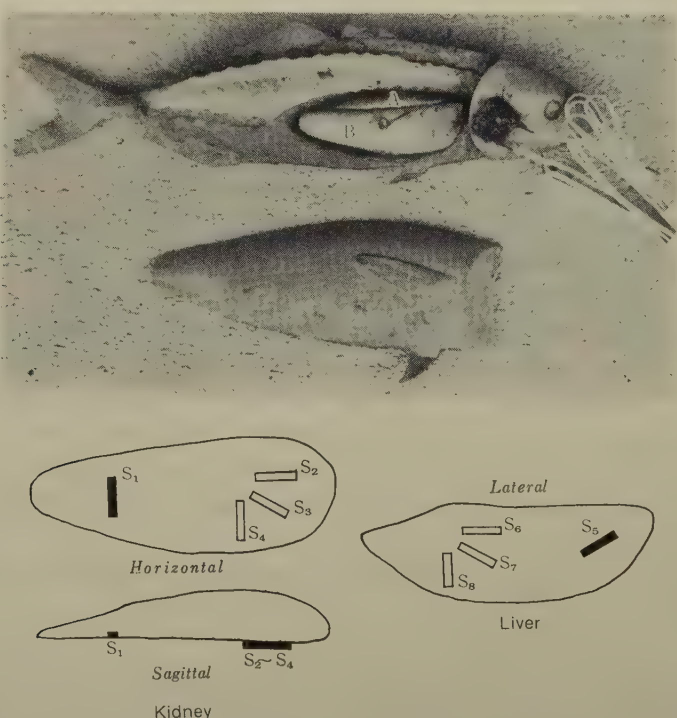


Fig. 1. A fish dummy used for the experiment and arrangement of the strain guage in the kidney and liver. Strain guages of S1 and S5 were set at inside and others were at surface.

した。内臓部AのS$_1$は樹脂に埋めこんだ1軸ゲージで，S$_2$，S$_3$，S$_4$は樹脂表面に貼り付けた3軸ゲージである。これらは脊椎とうきぶくろに挟まれた位置にある腎臓部の圧力波特性を検討することを目的とした。この場合，歪の測定には内臓部のBを除いて，この部分にうきぶくろを想定してゴム風船を挿入した。

内臓Bにとりつけたゲージのうち，S$_2$は樹脂内に埋めこんだ1軸ゲージで，S$_6$，S$_7$，S$_8$は樹脂側面に貼りつけた3軸ゲージである。使用した歪ゲージは共和電業社製KFC－2－C1－11（1軸ゲージ）およびKFC－2－D－17－11（3軸ゲージ）である。歪ゲージはブリッジ回路に結合し，その出力信号は動歪計（新興通信工業社製DS6/MTY）を通して，データーレコーダー（Ampex-FR1300）に収録した。記録の再生はトランジェントレコーダー(Biomation 802）およびX－Yレコーダー（渡辺測器WX－481）を使って行なった。さらにトランジェントレコーダーでAD変換したデーターを小型電子計算機（NOVA－01）に入れて，歪ロゼッタ解析を行なった。

結　　　果

1.　腹部内の圧力波形および圧力波の大きさについて

圧力計を模型魚の肝臓部の表面にとりつけた場合と内部に埋めこんだ場合に得られた圧力波形および水中圧力波の例を Fig. 2 に示した。また，水中圧力波および腹部内の圧力波のピーク圧，インパルスおよびエネルギー密度*との関係を Fig. 3 に示した。

Fig. 2 から模型魚の腹部内圧力波の波動の立ち上がり時間および持続時間（パルス幅）をみると内臓部の表面と内部では電気雷管，CCRともにほとんど差がないことがわかる。また，水中圧力波のエネルギー密度とそれに対応した腹部内圧力波のピーク圧は内臓の表面でも内部でも大きな違いはない。すなわち同一直線で表わされる（Fig. 3）。また，模型魚における腹部内圧力波のピーク圧は，水中圧力波のピーク圧に対し

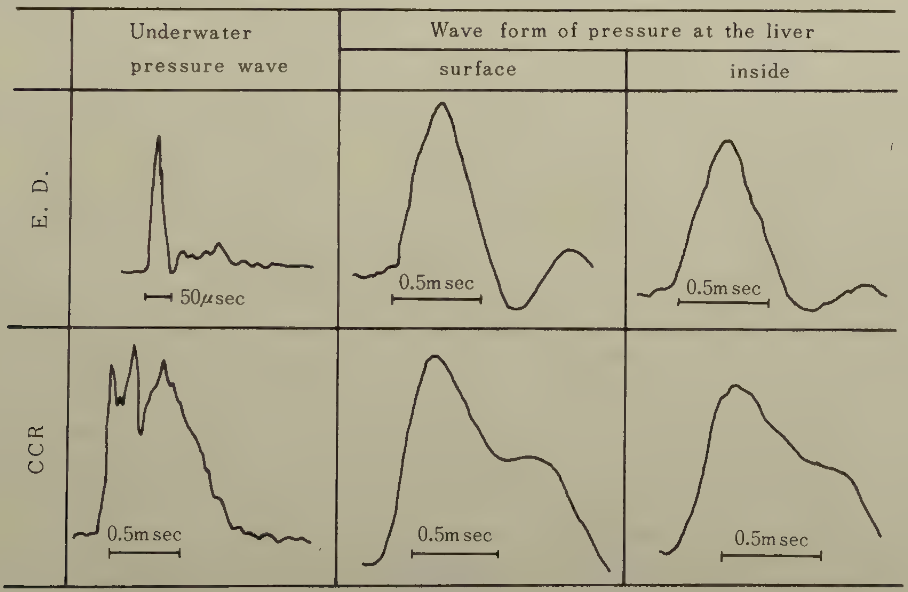


Fig. 2. Pressure wave forms of the underwater pressure wave and in the abdominal cavity of the fish dummy. E. D., electric detonator; CCR, concrete cracker.

---

*エネルギー密度を求める場合，媒質の密度と音速を知らなければならないが，模型魚では水の密度と音速を使ったのでこの値は相対値である。

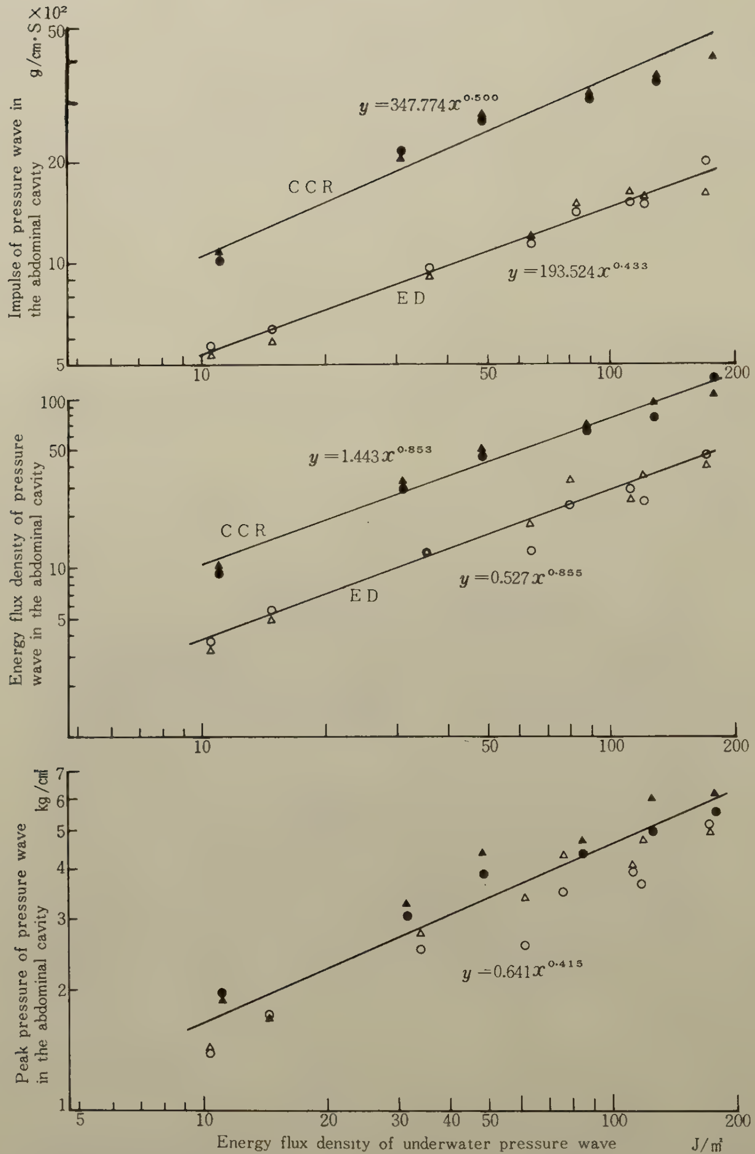


Fig. 3. Relationship between the pressure wave characters of the pressure wave in the abdominal cavity and the energy flux density of the underwater presssure wave. The values shown as open and closed triangles are measured in the inside of the abdominal cavity and those of circles are on the surface. CCR, concrete cracker; ED, electric detonator.

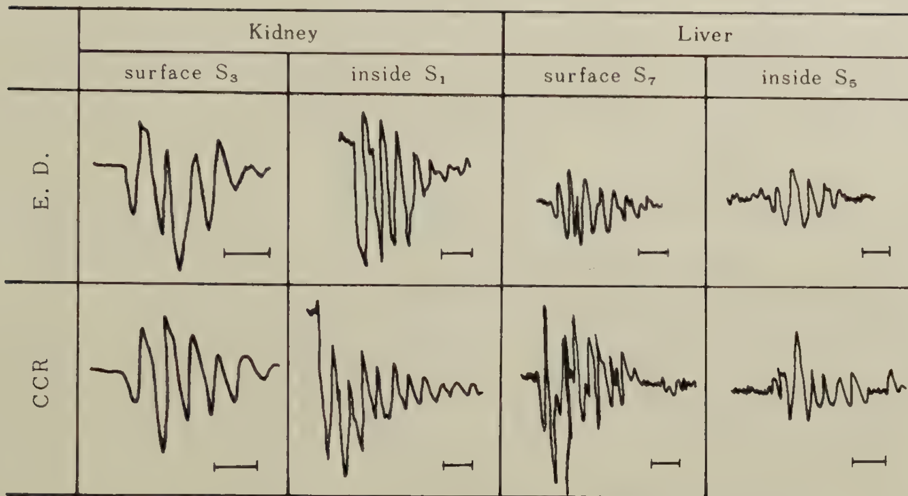


Fig. 4. Example waves form of the strain wave measured at each portion of the fish dummy. Refer to Figure 1 for the details of each portion, S1, S3, S5 and S7. E. D., electric detonator; CCR, concrete cracker. Scale denotes 5.0 ms.

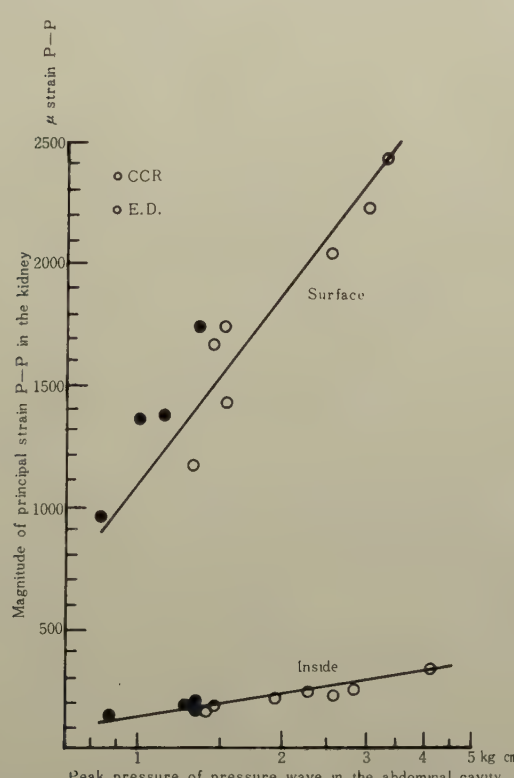


Fig. 5. Relationship between the magnitude of principal strain P-P in the kidney and the peak pressure of the pressure wave in the abdominal cavity measured at the surface and inside.

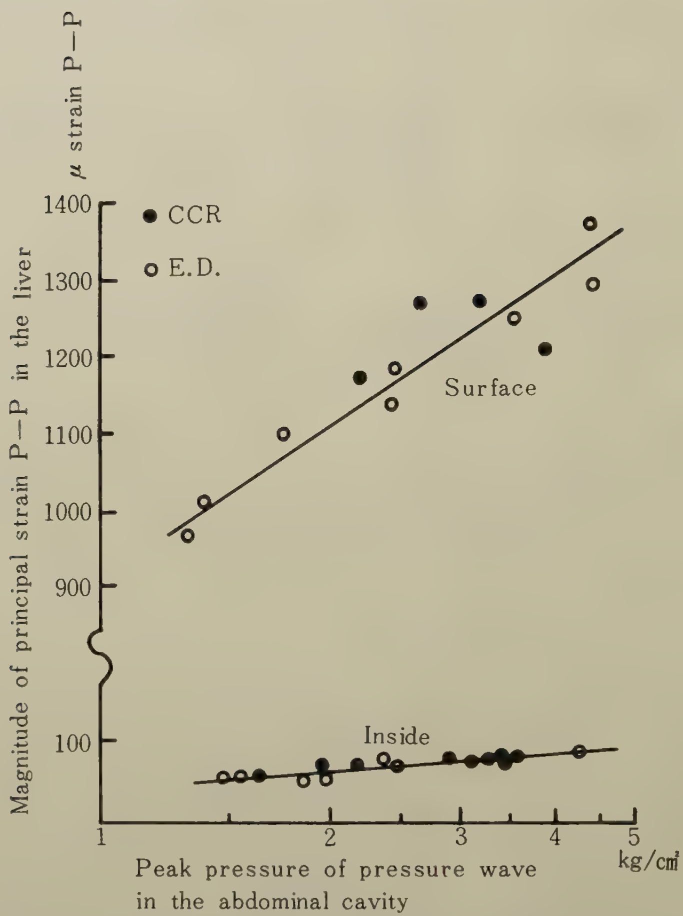


Fig. 6. Relationhip between the magnitude of principal strain P-P in the liver and the peak pressure of the pressure wave in the abdominal cavity measured at the surface and inside.

て電気雷管では10～20％，ＣＣＲでは50～70％にそれぞれ相当していた。

これらの模型魚における腹部内圧力波の波形特性ならびに水中圧力波に対する減衰率はハマチの生鮮魚を用いた場合の前報の実験結果と近似している。また，水中圧力波のエネルギー密度と腹部内圧力波のインパルスおよびエネルギー密度との関係は，Fig. 3 で明らかなように電気雷管とＣＣＲとでは異なったものになるが，ピーク圧との関連で表わすと前述したように両者の間には $y=0.641x^{0.415}$ $(\gamma=0.9282)$ の相関性が認められる。

2. 内臓部の歪について

模型魚の腹部の歪波形の例を Fig. 4 に，また，模型魚の腹部内圧力波のピーク圧と内臓の主歪の大きさとの関係を Fig. 5（腎臓), Fig. 6（肝臓）にそれぞれ示した。歪の大きさの表示は正圧部ピーク圧から負圧部ピーク圧までの大きさ（P－P）で示した。ここでは腹部内圧力波のピーク圧が内部器官に及ぼす影響を内臓における歪を測定することにより検討した。

この場合，模型魚の腹部内に圧力計と歪ゲージを同時にとりつけることが困難であったので，魚体外の水

中圧力波の大きさと内臓の歪を同時に測定し，すでに検討した水中圧力波のエネルギー密度と腹部内圧力波のピーク圧の関係式 $y=0.641x^{0.415}$ (Fig. 3) から歪測定時の腹部内圧力波のピーク圧を算出し対応させた。

爆源が電気雷管あるいはＣＣＲのいずれでも同一直線上にプロットされる。これより，腹部内圧力波のピーク圧と内臓の歪の大きさの間には相関がみられ，この関係は水中圧力波の波形には影響されないことがわかる。

また，内臓部の表面の歪の振幅は，腎臓部，肝臓部ともに内部の歪の振幅に比べてはるかに大きい。さらに Fig. 5 とFig. 6 で表面における腹部内波力波のピーク圧の増加に対する内臓の主歪の振幅の増加を比較すると，腎臓部が肝臓部に比べ著しく大きいことがわかる。このちがいは実際の水中発破における被爆魚の解剖観察でも水中圧力波の強さの増加に対する内臓器官の損傷程度の増加率は腎臓が消化管や肝臓におけるよりも大きいこととよく一致している。

考　　　　　察

水中発破によって被害を受けた魚の肝臓の症状は肝被膜の欠損とそれに伴う出血が主体となっており，損傷が内部にまで及ぶことは少ない。このことは魚の内部器官の水中圧力波の歪応答の振幅が表面においては内部におけるよりもはるかに大きいことと関係があるものと考えられる。

実際の被爆にさいして，腎臓部は他の内臓部と比較してピーク圧の増加による損傷が急激に大きくなっているが，これは模型魚で観察されたように腎臓部における水中圧力波のピーク圧の増加に対応する歪の振幅の増加率が肝臓部よりも大きいことによるものと推察される。

これらの実験結果を総合的に検討すると，被爆による内臓の損傷は，内部器官の組織の歪の振幅と強い関連があり，大きな歪の振幅が与えられることによって生ずるものと思われる。すなわち，内部器官の損傷は，内部器官の組織の歪の振幅に起因しているものとみなされる。またこの歪の振幅は腹腔内圧力波のピーク圧は水中圧力波のエネルギー密度と関連している。前報で魚の内部器官の損傷が水中圧力波のエネルギー密度との関係で検討できたことについては損傷機構の本質的なものではないが，今までのことを総合すれば魚体の力学的な応答特性から水中圧力波のエネルギー密度と腹腔内圧力のピーク圧が高い相関を示していることによるものと理解される。

摘　　　　　要

水中圧力波の魚類への損傷機構を明らかにするため，合成樹脂で作成した模型魚体を使用して水中圧力波の内部器官への伝播等について検討した。得られた結果はつぎのとおりである。

1）水中王力波のエネルギー密度と腹部内圧力のピーク圧との間には，生鮮魚の場合と同様に本実験に用いた模型魚においても相関がみられた。このことは魚類の水中衝撃圧による損傷は腹部内圧力波のピーク圧との関連で論議できることを示していると判断された。

2）腹部内圧力波のピーク圧と主な歪の振幅は，電気雷管とＣＣＲとも同一の線上にプロットされ，強い相関が認められた。また，内臓表面における歪の振幅は内部の振幅よりも予想以上に大きい。さらに部位関係では，腎臓部における腹部内圧力波の増加に対する歪の振幅の増加率は，肝臓部よりも大きい。

3）損傷を受けた肝臓を組織学的に検討すると表皮に近い組織の剥離とそれにともなう出血が主体となっており，内部まで及ぶことは少ない。これは魚の腹部内圧力波の歪応答の振幅は表面が内部より大きいことと関連がある。また，腎臓部の歪の振幅の増加率が他の器官より大きいことは腎臓が損傷を受け易いことを示している。

4）これらのことから，魚の内部諸器官の水中衝撃波による損傷は主に内部器官のそれぞれの組織の歪の振

幅に起因するものとみなされた。この歪の振幅は腹部内圧力波のピーク圧との関連がある。さらにこの腹部内圧力波のピーク圧は水中圧力波のエネルギー密度と相関がみられる。

文　献

1）梅沢敏・阪口清次・福原修・藤谷超・小川輝繁，1978：水中衝撃圧の魚類に及ぼす損傷機構に関する研究－Ⅰ，水中圧力波の生鮮魚の腹部内における力学的応答．本誌（11），47～55.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (11) 65~74 (1978)

コーチゾール・ラジオイムノアッセイの標準曲線のあてはめに関する検討

石岡清英・石岡宏子

Fit of Some Analytical Functions to Cortisol Radioimmunoassay Standard Curves

Kiyohide ISHIOKA and Hiroko ISHIOKA

Some analytical functions were tested for fitness to the standard curves in radioimmunoassays of cortisol. When A, B and C were parameters, and Y was the value calculated from radioactivity measured at cortisol concentration X, the good fitness was obtained with the function, $Y=A/(X+B)+C$. This rectangular hyperbola derived from the principles on radioimmunoassay was a curve with a point (0, 100) and was associated with a smaller residuals around Y (observed values minus calculated one) below 2 ng in cortisol concentration.

This function was judged to be more useful than any of the following functions; $Y=100/(AX+1)$, $Y=B'e^{AX}$, $Y=AX^B$, $Y=100BX^A/(1+BX^A)$, $Y=A+BX+CX^2$, $Y=A+BX+CX^2+DX^3$, $Y=A+BX+CX^2+DX^3+EX^4$, $Y=1/(A+BX+CX^2)$, where A, B, C, D and E were parameters.

ストレスに対する魚の反応の一つとして，血液中のコーチゾールの量的変動があげられる。コーチゾールの測定は，蛍光法によるコルチコステロイドの定量によるものや，MURPHY[1)] による Competitive Protein Binding Assay 等が行なわれてきた。しかし，最近は，微量ホルモンの分析方法として Radioimmuno—assay (RIA) による方法が普及し，現在ではホルモン定量の主流の測定方法となり，コーチゾール分析にも応用されるようになった。

この方法は，除蛋白やステロイドの抽出などの煩雑な前処理操作を伴なわず，また，特異性が高い分析方法である。分析に必要とする血液量は，10～100μl の微量でよい。したがって，100 g 以下の小型魚の血液を分析の対象とする場合や大型魚の血液成分の多項目分析を行なう場合にも有効である。

ところで，この分析方法では，測定値と，コーチゾール濃度とは，単純な比例関係にはない。一連の分析毎に標準曲線を描き，測定値を標準曲線にあてはめて，コーチゾール濃度を読み取る必要がある。標準曲線は，既知濃度のコーチゾールを分析して得た測定値を一定方式で換算値とし，濃度との関係をグラフ上にプロットし，フリーハンドで曲線を描くのが普通である。この標準曲線を簡単な数理モデルで表現することができれば，分析資料の処理がシステム化できるとともに，グラフの読み取りの誤りや，標準曲線のゆがみの減少等に役立つ。RODBARD[2)]，TÄLJEDAL[3)]，入江[4)]，その他多くの研究者により，ＲＩＡの標準曲線の数式化が試みられている。今回，コーチゾールＲＩＡの実施にあたり，最初これらの数式へのあてはめを行なってみたが，実測値との誤差が大きく，十分な結果が得られなかった。そこで，筆者らはＲＩＡの原理から，標準曲線の数式化を試み，良好な結果を得たのでここに報告する。

1978年10月11日受理，南西海区水産研究所業績　第83号

方　　法

1.　試薬および分析方法

試薬は，日本アイソトープ協会が配布しているＣＩＳ製のコーチゾール・Ｈ—３・ＲＩＡキットを用い，分析方法はそのマニュアルに従がった。スタンダード曲線の作製には，コーチゾール濃度，0，0.25，0.5，1.0，2.0，4.0，8.0 ng/tube の標準試料を調整して用いた。各試料ごとに，２検体づつ分析を行ない，測定は液体シンチレーションカウンター（PACKARD TRI—CARB 3255型）で，10分間の計測を，２回づつ行ない，結果を平均した。この平均値を，マニュアルに従がって計算し，換算値を求めた。

なお，数値計算の大部分は，BASIC 言語により，デスクトップ型計算機（HEWLETT・PACKARD Model 9830 A）を用いて行なった。

2.　ＲＩＡの測定原理

ＲＩＡの原理は，抗原抗体反応の場において，抗体に対する非標識抗原と標識抗原との間に起こる競合現象を応用したものである[4]。分析手順は次のようになる。測定目的の物質を抗原として，これに対する抗体をあらかじめ作製しておく。一方アイソトープ標識の抗原を作製する。（標識抗原）

過剰の抗原と一定量の抗体を混ぜインキュベートすると，抗体量に応じた抗原抗体結合物が生成し，沈澱する。したがって，一定量の標識抗原，未知量の非標識抗原に一定量の抗体を加えると抗原抗体反応がおこる際，競合現象によって，非標識抗原が増加するほど，標識抗原の沈澱する量が減少する。インキュベート後，遠心分離し、抗原抗体反応生成物と遊離抗原を分離し，遊離抗原中の標識抗原を液体シンチレーションカウンターによって測定する[3]。

3.　標準曲線の数理モデルの検討

前項のことを数式表現するため，記号を次のようにする。

Ｔ：標識抗原量（一定量，測定可能）
Ｘ：非標識抗原量（測定対象）
Ｃ：抗体量（一定量）
Ｂ：抗体結合標識抗原量
Ｓ：遊離抗原中の標識抗原量（測定可能）
ｋ：抗原と抗体の結合係数

標識抗原は，抗体に結合したものと，遊離したものとがあるので，

$$T = B + S \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

が成りたつ。

抗原は，標識，非標識を問わず，抗体との反応が同じとすると（競合現象）

$$S = (T + X - kC)\ \frac{T}{T + X} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

を得る。(2)式は変形すると，

$$S = T - \frac{kCT}{T + X} \quad \cdots\cdots\cdots(3)$$

となり，(1)式を代入すると，

$$B = \frac{k \cdot C \cdot T}{T + X} \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

を得る。

なお，換算値Ｙは，次式によるパーセント表示で示される。

$$Y=\frac{T-S}{T-S_0}\times 100=\frac{B}{B_0}\times 100 \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

ここで$X=0$のとき$S=S_0$，$B=B_0$とする。

モデルⅠ　kの値が，抗原量に無関係と考えた場合

まず，抗原と抗体の結合係数kが，抗体量（T＋X）に無関係で一定と考える。(4)式より，

$$B_0=kC \cdots\cdots\cdots(6)$$

(4)および(6)式を(5)式に代入し，整理すると，

$$Y=\frac{100\cdot T}{T+X} \cdots\cdots\cdots(7)$$

となる。

Fig. 1―Aに標準曲線の一例を示す。これは，測定キットのマニュアルに記載されているものであり，曲線はフリーハンドによる。(7)式は直角双曲線であり，図1―Aをみると(7)式に適合しそうにみえる。しかし，(7)式を変形すると，

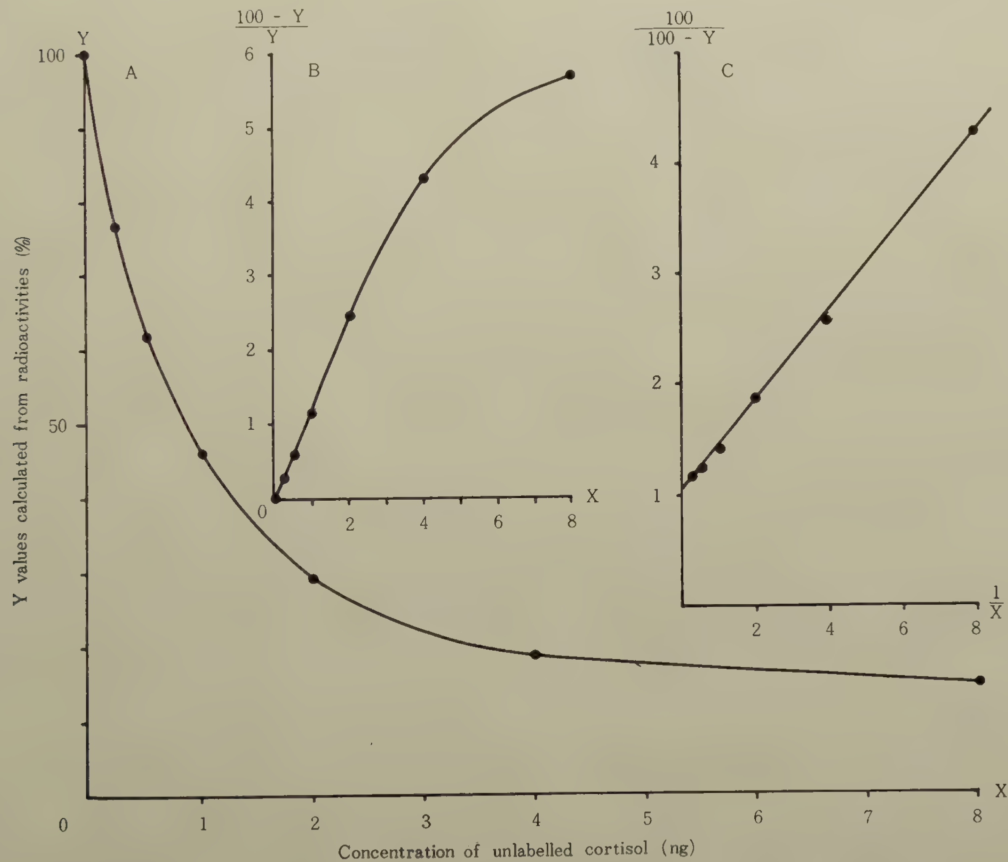


Fig. 1. Graph showing a standard curve derived from radioimmunoassay of cortisol. The insets show the corresponding representations of the curves fitted to Model I (B) and to Model II (C).

$$\frac{100-Y}{Y}=\frac{X}{T}\cdots\cdots\cdots(8)$$

となり，(7)式が，標準曲線にふさわしいためには，測定データを換算した値（100－Y）/Y とXは直線関係にならなければならない。ところが，これを図にプロットして見ると，Fig. 1—B となり，直線関係にはならない。Xの多いところすなわち，（T＋X）の多いところでは，(8)式の左辺の値は，予想より低い値をとるようになる。(8)式の左辺の値は(5)式より，

$$\frac{100-Y}{Y}=\frac{B_0}{B}-1\cdots\cdots\cdots(9)$$

であり，この値が予想より小さくなるということは，(9)式のB_0が定数であるので，抗体結合標識抗原量Bが，予想より増えるためと考えられる。また，競合現象から考え，抗体結合非標識抗原量も同様に増加していると考えられる。

以上のことから，抗原と抗体との結合係数kは抗原量（T＋X）の関数と考える方がよい。

モデルII　kの値が抗原量の関数であると考えた場合

モデルＩの項の検討結果から，まず，kを次のように，抗原量の一次関数と考える。

$$k=k_0\{1+r(T+X)\}\cdots\cdots\cdots(10)$$

すなわち，kは，一定係数k_0と，抗原量（T＋X）に比例する部分$k_0r(T+X)$とからなると考える。この二つの項の意味の解釈としては前者は抗原抗体結合による部分，後者は抗原抗体結合沈澱物に吸着される部分と考えてもよかろう。

(10)式を(4)式に代入すると

$$B=\frac{k_0\cdot C\cdot T\{1+r(T+X)\}}{T+X}\cdots\cdots\cdots(11)$$

となる。X＝0でB＝B_0であるので，(10)式より，

$$B_0=k_0\cdot C\cdot(1+rT)$$

となり，(5)式に代入すると，

$$Y=\frac{B}{B_0}\times100=\frac{100\cdot T}{T+X}\left\{\frac{1+r(T+X)}{1+rT}\right\}\cdots\cdots\cdots(12)$$

である。さらに変形すると，

$$Y=100\cdot\left\{\frac{T+rT(T+X)}{(T+X)(1+rT)}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

となる。ここで，r＝0とすれば，(13)式は(7)式に同じになる。(13)式もまた直角双曲線である。この係数を定めるには，直線式に変形するほうが検定しやすい。(13)式を次のように変形する。

$$\frac{Y}{100}=\frac{(T+X)+rT(T+X)-X}{(T+X)(1+rT)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

整理すると，

$$\frac{Y}{100}=1-\frac{X}{(1+rT)(T+X)}$$

したがって，

$$1-\frac{Y}{100}=\frac{X}{(1+rT)(T+X)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

となる。両辺の逆数をとると，

$$\frac{100}{100-Y}=T\cdot(1+rT)\cdot\frac{1}{X}+(1+rT)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

となり，$\frac{100}{100-Y}$と，$\frac{1}{X}$は直線関係になる。

(16)式にもとづく計算結果を Fig. 1—C に示す。データは前と同じものである。ほぼ直線上にプロットされ，kを（T＋X）の一次関数と仮定した(10)式が，うまくあてはまったことがわかる。回帰直線のあてはめにより，各係数を求めると，次のようになる。

$T(1+rT)=0.813$

$1+rT=1.030$

したがって，

$r=0.0383$

$T=0.789$

となる。この値を用い，(12)式でYの値を計算すると Table 1 になる。

Table 1. Comparison of the Y values estimated from the function of Model II, $100/(100-Y)=T\cdot(1+rT)\cdot 1/X+(1+rT)$, with the calculated values from radioactivities.

	X	Y	x	y	y′	y−y′	Y′	Y−Y′
—	0	100	INF.	INF.	INF.	—	100	0
1	0.25	76.8	4.000	4.310	4.281	0.029	76.64	0.16
2	0.50	61.4	2.000	2.591	2.656	−0.065	62.35	−0.95
3	1.00	46.4	1.000	1.866	1.843	0.023	45.74	0.66
4	2.00	29.0	0.500	1.408	1.437	−0.028	30.39	−1.39
5	4.00	18.8	0.250	1.232	1.233	−0.002	18.92	−0.12
6	8.00	14.9	0.125	1.175	1.132	0.043	11.65	3.25

$x=1/X$, $y=100/(100-Y)$, $y'=y$ estimate, $Y'=Y$ estimate

なお，抗原と抗体との結合係数kを，次のような式として定めることもできる。

$k=k_0\{1+(T+X-C')\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(17)$

C′：純粋に，抗原抗体結合により，沈澱した抗原量（一定量)。

この式では，kは，一定係数k_0と，抗体と結合しない抗原量（T＋X－C′）に比例する部分 $k_0r(T+X-C')$とからなるという考え方である。この意味するところは，まず抗原抗体反応が起り，これが沈澱する際に，遊離抗原を吸着するとの解釈もできる。このモデルでは，(12)式に相当するものは次式となる。

$$Y=100\cdot\left\{\frac{T+rT(T+X-C')}{(T+X)\{1+r(T-C')\}}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

(16)式に相当する，直線形の式は，

$$\frac{100}{100-Y}=T\left(1+\frac{rT}{1-rC'}\right)\cdot\frac{1}{X}+1+\frac{rT}{1-rC'}$$

となる。すなわち，(16)式と同様に，$\frac{100}{100-Y}$と，$\frac{1}{X}$は直線関係となる。また，標識抗原量Tは(16)式によるものと同様であり，また，

$$\frac{r}{1-rC'}=0.0383$$

である。

以上のことを，標準曲線を求める計算手順として要約すると次のようになる。

①非標識抗原量Xおよび，測定換算値Yを次のように変換する。

$$\frac{1}{X} \longrightarrow x$$

$$\frac{100}{100-Y} \longrightarrow y$$

②変換された，x，yを回帰直線y＝ax＋bにあてはめ，係数a，bを定める。ここで

$$T=\frac{a}{b} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

である。また，結合係数kに(10)式を用いると，

$$r=\frac{b\cdot(b-1)}{a} \cdots\cdots\cdots(20)$$

である。

③(13)式は次のように変形される。

$$Y=\frac{100\cdot T}{(X+T)\cdot(1+r\cdot T)}+\frac{100\cdot r\cdot T}{1+r\cdot T} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

これは，A，B，Cをパラメータとして，次のように表わされる。

$$Y=\frac{A}{X+B}+C \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

A，B，Cを②の操作で求めたパラメータa，bで表現すると，

$$A=\frac{100\cdot a}{b^2},\quad B=\frac{a}{b},\quad C=\frac{100\cdot(b-1)}{b}$$

である。

④未知濃度のコーチゾールを測定する場合は，測定換算値Y(%)を与えて，Xを求める。

(22)式をXを求める式に変形すると，

$$X=\frac{A}{Y-C}-B \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

となる。

結 果 お よ び 考 察

1. 標準曲線への適用

測定マニュアルに記載された標準曲線のデータ，および，筆者らが，実際に分析して得た標準曲線のデータ6例について，(13)式のモデルにあてはめてみた。数式表現は(22)式による。Table 2 に，実測側と，計算値（理論値）を示す。また，実測値Yと理論値Y′の差（Y－Y′）を Fig. 2 に示す。これらの図表に示されるように実測値と計算値は比較的よく一致はするものの，実験例によっては，バラツキが大きい場合もある。しかし，＋，－のどちらか一方向への片寄りは見られないといえよう。このバラツキの原因には，抗原抗体反応に関与する種々の問題（変成物の生成，酵素による分解，非特異的吸着反応等）も考えられるが，

Table 2. Comparison of Y values calculated from radioactivities with the values derived from the hyperbola, $Y=A/(X+B)+C$ (A, B, C: parameters).

(%)

	Example													
	(manual)		(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)	
X (ng)	Y	Y′	Y	Y′	Y	Y′	Y	Y′	Y	Y′	Y	Y′	Y	Y′
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25	76.8	76.6	65.7	66.3	76.7	77.3	61.3	60.3	71.9	71.4	66.2	65.4	62.1	63.5
0.5	61.4	62.3	53.4	51.2	66.0	64.2	43.5	46.7	54.3	56.3	44.7	49.1	52.5	46.7
1	46.4	45.7	39.2	37.1	53.9	49.6	33.5	35.8	38.0	40.5	34.5	33.4	29.8	30.7
2	29.0	30.4	24.3	26.4	38.6	36.7	—	—	28.1	27.5	22.5	21.3	17.6	18.5
4	18.8	18.9	—	—	20.5	27.4	—	—	22.4	18.5	17.9	13.4	6.3	10.7
8	14.9	11.6	11.2	15.7	11.0	21.6	27.1	21.6	15.7	13.2	7.5	8.9	2.4	6.1

Formula

(Manual)	$Y=76.57/(X+0.789)+2.93$	$r=0.0383$	$T=0.789$
(1)	$Y=36.22/(X+0.409)+11.34$	$r=0.3131$	$T=0.409$
(2)	$Y=58.59/(X+0.688)+14.86$	$r=0.2537$	$T=0.688$
(3)	$Y=21.05/(X+0.260)+19.04$	$r=0.9047$	$T=0.260$
(4)	$Y=52.29/(X+0.563)+7.07$	$r=0.1353$	$T=0.563$
(5)	$Y=42.88/(X+0.446)+3.78$	$r=0.0882$	$T=0.446$
(6)	$Y=42.34/(X+0.428)+1.09$	$r=0.0257$	$T=0.428$

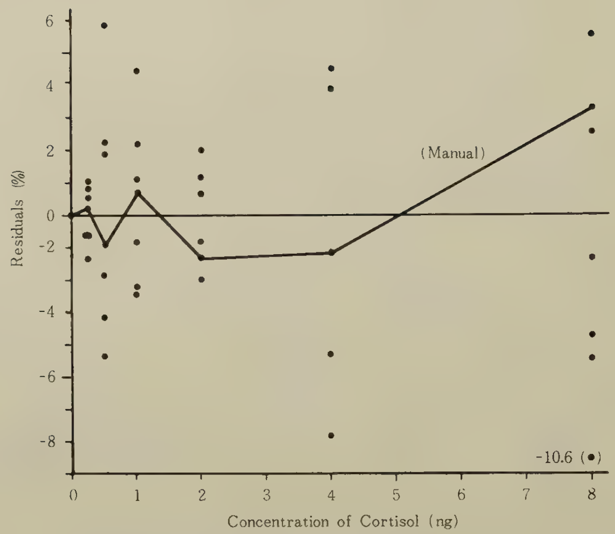


Fig. 2. The distribution on residuals around Y (observed value minus calculated one).

主要な原因は，分析の際のピペット操作や，測定試料の取り扱いのバラツキに起因すると思われる。

この理論式へのあてはめの主要な点は，X，Yを変数変換して，直線式に乗せるところである。Fig. 1—Cに認められるように$x=1/X$の大きい値（すなわちXの小さい値）の直線式決定に与える影響が大である。xの小さい所（Xの大きい所）では，$y=\frac{100}{100-Y}$は1に近づき，大きい変化をしないため，直線の決定には大きな影響を与えない。この直線の決定のためには，測定データは，この図で等間隔に並んでいるのが望ましい。これらの観点から考えると，X＝8 ngおよび4 ngの点は不要であり，0.3ng近辺に一点あるのが望ましいだろう。なお，直線のあてはまりは比較的良好であるので，X＝0.25，0.5，2 ngの3点の測定からでも十分実用的な標準曲線が得られよう。

標準曲線を求めるに当っての注意としては，次のような点があげられよう。標準曲線によっては結合係数kに関連する係数rが，負となる場合がある。これは，数理モデル設定の仮定と矛盾している。数値計算は可能であり，観測点に近い所を通る標準曲線は得られるが，一応データを検討し取捨選択するのが望ましい。また，曲線の型からXを与えてYを得る場合は，8 ng付近でも実測値と，計算値は数％の誤差であるが，測定換算値Yから，コーチゾール濃度X(ng)を得る場合は，実測側と計算値は大きく異なってくる。例えば操作マニュアルのデータの8 ngの点の場合，(22)式を用いると（Yの計算値）－（Yの実測値）＝3.25％であるが，(23)式を用いた（Xの計算値）－（Xの実測値）＝2.39(ng)にもなる。したがって，この分析で良好な結果を得るのは，コーチゾール濃度0～2 ng 程度の範囲と考えられる。

なお，この曲線式のモデル決定は，結合係数kを，抗原量（T＋X）に比例すると仮定して考え，(10)式を用いて展開して得られたものである。もしこの点に関して，他の理論が明らかとなり，(10)式を異なる形に，そしてより実態に即して表現することができれば，標準曲線の形は，若干異なってくるであろう。しかし，現在のところは，この形のモデルでも十分実用的である。

2. 他のモデル曲線との比較

理論的に曲線の型が推測できる場合は，理論的にモデルの設定を行なうべきであり，形が似ているということだけで，曲線式を選定するのは望ましいことではない。しかし，理論的裏付が充分でない場合や，理論

的に設定されたモデルが，現実にうまく適合しない場合などは，通常よく用いられるモデルを使用するのもやむを得ない。ここでは，各種の曲線モデルへのあてはめを比較した。用いたモデル式は次のとうりである。

①$Y=\frac{100}{AX+1}$　（$y=\frac{100-Y}{Y}$と変換し，$y=A\cdot X$にあてはめる。）前述のモデルⅠに同じ

②$Y=e^{A\cdot X+B}=B'\cdot e^{A\cdot X}$　（$y=\log Y$と変換し，$y=A\cdot X+B$にあてはめる。）

③$Y=AX^{B}$　（$y=\log Y$，$x=\log X$と変換し，$y=a+B\cdot x$にあてはめる。）

④$Y=\frac{100\cdot B\cdot X^{A}}{1+B\cdot X^{A}}$　（$y=\log\frac{Y}{100-Y}$，$x=\log X$と変換し，$y=Ax+b$にあてはめる。）

⑤$Y=A+BX+CX^{2}$　（2次曲線）

⑥$Y=A+BX+CX^{2}+DX^{3}$　（3次曲線）

⑦$Y=A+BX+CX^{2}+DX^{3}+EX^{4}$　（4次曲線）

⑧2次曲線と，3次曲線の組み合わせ。

⑨$Y=\frac{1}{A+BX+CX^{2}}$

⑩$Y=\frac{A}{X+B}+C$　（前述のモデルⅡの曲線）

操作マニュアルに記載されたデータを，それぞれの曲線モデルにあてはめて得られた標準曲線について，Y（%）の値のデータと，計算値を Table 3. に示した。なお，①および，⑩は，それぞれ，前述のモデル－Ⅰ，モデル－Ⅱの曲線である。

Table 3. Comparison of Y′ values derived from ten analytical functions showed below.

X (ng)	Y (%)	Y′ (%) (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0	100	100	67.1	—	100.0	84.0	93.7	98.7	100	107.5	100
0.25	76.8	83.1	63.5	83.3	74.8	76.7	79.6	78.6	76.8	77.8	76.6
0.5	61.4	71.1	60.0	58.8	61.8	69.8	67.4	63.4	61.4	61.4	62.3
1.0	46.4	55.1	53.6	41.4	46.8	56.9	47.5	43.5	41.4	43.8	45.7
2.0	29.0	38.1	42.8	29.2	32.4	35.1	23.9	29.9	29.0	28.9	30.4
4.0	18.8	23.5	27.3	20.6	20.7	7.7	20.4	18.7	18.8	19.0	18.9
8.0	14.9	13.3	11.1	14.5	12.5	17.1	14.8	14.9	14.9	14.9	11.6

(1) $Y=100/(1.2292X+1)$
(2) $Y=67.135e^{-0.225x}$
(3) $Y=41.442X^{-0.504}$
(4) $Y=88.073/(0.8807+X^{0.875})$
(5) $Y=84.01-29.81X+2.68X^{2}$
(6) $Y=93.70-59.64X+14.44X^{2}-1.03X^{3}$
(7) $Y=98.32-88.76X+41.59X^{2}-8.21X^{3}+0.53X^{4}$
(8) $Y=100-112.6X+87.6X^{2}-33.6X^{3}$, $Y=44.7-9.225X+0.6875X^{2}$ (Intersection, $X=1.157$)
(9) $Y=100/(0.930+1.441X-0.0896X^{2})$
(10) $Y=76.575/(X+0.7889)+2.934$

単にデータへの適合性という観点からは，⑥，⑦のような高次多項式のあてはめや，⑧のような，多項式の組み合せ式がよいようにみえる。また，⑨のような実験式もほぼ全域で使用可能な場合もある。しかし，ＲＩＡ標準曲線のモデルとして望ましい条件は，観測点にうまく適合することのほか次のようなことが考えられる。第一に，標準曲線は定義からも，Ｘ＝０，Ｙ＝100の点を通る方がよい。第二に，経験的事実からは，Ｘの増加につれて，Ｙの値はゆるやかに減少し，極大値や極小値をとらず，変曲点や屈曲点がない方がよい。第三に，⑧の曲線のように標準曲線を求める計算のために，測定点を適当な点で二分する等の，主観的要因が計算途中に入ってくることは好ましくない。

以上の点に注意して，Table 3 を見ると，前節で検討したモデル－Ⅱの曲線⑩がよく適合していることがわかる。他には，④の曲線が比較的よく適合している。④の曲線は，ＲＩＡの標準曲線でよく用いられてきた logit 変換値の一次回帰式より得たものであるが，曲線⑩と比較すると，Ｘの大きい値での適合性が劣る。すなわち，理論的に導かれた，標準曲線（モデルⅡ）は，一般的によく用いられる他の曲線と比較しても十分すぐれていることがわかる。

コーチゾール分析に先立ち，必要な資料を貸与された東海区水産研究所　広瀬慶二博士，数式の取り扱い，結合係数ｋの導入について重要な示唆を与えていただいた東海区水産研究所　土井長之博士，論文の校閲をいただいた東京水産大学荻野珍吉教授，南西海区水産研究所多々良薫博士，阪口清次博士に深謝の意を表します。

摘　　　　要

コーチゾール定量のため，ＲＩＡを利用する場合の標準曲線のあてはめについていくつかの検討を行なった。ＲＩＡの測定原理にもとづき，抗原抗体結合係数ｋが，抗原量（非標識抗原＋標識抗原）に比例すると仮定して，次のような標準曲線のモデルを組み立てた。

$$Y = \frac{A}{X+B} + C$$

ここで，Ｘ：コーチゾール含量，Ｙ：測定換算値，Ａ，Ｂ，Ｃ：パラメータ。

このモデルの検討，および他の数理モデル（片対数曲線，両対数曲線，logit 変換値の一次回帰直線，２次曲線，３次曲線，４次曲線等）との比較から，この式が最も実用的であることを明らかにした。

文　　　　献

1）Murphy B. E. P, 1967: Some Studies of the Protein-Binding of Steroids and Their Application to the Routine Micro and Ultramicro Measurement of Various Steroids in Body Fluids by Competitive Protein-Binding Radioassay. J. Clin. Endocrinol. & Metabolism, **27**, 973—990.

2）Rodbard, D., W. Bridson, and P. L. Rayford, 1969: Rapid Calculation of Radioimmunoassay results. J. Lab. Clin. Med., **74**(5), 770—781.

3）Taljedal, I. B and S. Wold, 1970: Fit of Some Analytical Functions to Insulin Radio-Immunoassay Standard Curves. Biochem. J., **119**, 139—143.

4）入江實他，1974：ラジオイムノアッセイ，第１版，xxiv＋390pp 講談社.

BULLETIN OF THE NANSEI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

is issued each year with one or two Numbers. All communications relating to this Journal should be addressed to Director.

Exchange of publication will be highly appreciated.

Address

The Nansei Regional Fisheries Research Laboratory
Director & Administrative Sections
Inland Sea Fishery Resources Research Division
Aquaculture Research Division
Oceanographic Research Division
(Fisheries Ground Preserving)
7782-9 Maruishi Ono-cho, Saiki-gun
Hiroshima Pref., 739-04, Japan

Offshore Fishery Resources Research Division
Oceanographic Research Division
6-1-21 Sanbashi-dori, Kochi, 780, Japan

〔非売品〕

昭和53年12月25日 印 刷　　昭和53年12月28日 発 行

広島県佐伯郡大野町丸石7782—9
発行者　南西海区水産研究所
花 村 宣 彦

印刷所　株式会社 中本本店印刷

CONTENTS